



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PROCESADORA DE CACAO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: JORGE ESTEBAN MEJIA ANDRADE

TUTOR: ING. NELSON GUSTAVO JARA COBOS, PhD.

Cuenca – Ecuador

2024

# **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Jorge Esteban Mejía Andrade con documento de identificación N° 0150046126 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 07 de marzo del 2024

Atentamente,



---

**Jorge Esteban Mejía Andrade**  
**0150046126**

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jorge Esteban Mejía Andrade, con documento de identificación N° 0150046126, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño de una máquina procesadora de cacao", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de marzo del 2024

Atentamente,



---

**Jorge Esteban Mejía Andrade**

**0150046126**

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Nelson Gustavo Jara Cobos con documento de identificación N° 0102679644, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MAQUINA PROCESADORA DE CACAO, realizado por Jorge Esteban Mejía Andrade, con documento de identificación N° 0150046126, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de marzo del 2024

Atentamente,



---

**Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos, Ph.D**  
**0102679644**

# Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado:

Primeramente, a Dios, quien ha sido mi guía y me ha dado fortaleza para cumplir con las metas que me he propuesto durante estos cinco años de carrera y culminar dando un último gran paso a la obtención de mi título como ingeniero Mecánico.

A mis padres Jorge y Daisy, quienes con su esfuerzo, cariño, ánimos y paciencia supieron guiarme y darme su apoyo en los momentos más difíciles que se presentaron durante este largo camino, agradecerles por todo el esfuerzo que siempre dan por nuestra familia y que este título no es solo mío, sino que va dedicado con mucho amor hacia ustedes.

A mis abuelitos Esperanza, Flora, Vicente y Abelardo, quienes me transmitían su sabiduría y enseñanzas para seguir directo hacia mi propósito, agradecerles también por su apoyo incondicional y todo su amor y esmero que pusieron en mí el cual este título también está dedicado hacia ellos quienes son las personas más importantes en el mundo.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma, como lo son mis hermanos Martín y Luciana y todos mis tíos y a una persona que me brindo apoyo en todo el proceso de la universidad Emilia Cornejo.

## **Agradecimientos**

Quiero empezar agradeciendo a Dios por darme la fuerza, la capacidad física e intelectual, de culminar con éxitos mis estudios.

Un agradecimiento profundo a mis padres, quienes me han enseñado, educado y dado todo su apoyo durante este largo camino, por todo el amor en sus palabras y la comprensión en cada acto, para llegar hasta este momento por su valentía y porque, a pesar de todas las dificultades que se presentaron en estos años, siempre supieron pararse y seguir adelante y así enseñarme afrontar las adversidades siempre teniendo una actitud positiva enfrentando siempre a los problemas sin rendirse porque un tropezón no siempre es una caída.

Por otro lado, agradecer a mis abuelitos, que son siempre un apoyo fuera de casa, son mi compañía en momentos difíciles y de angustia, quienes me guiaron y siempre oraron para que no me desviara de mi camino, estoy profundamente agradecidos con ellos en especial con mis abuelitas Esperanza y Flora siempre me dieron una mano en mis momentos difíciles y de agonía cuando más tensión tenía en mi vida ellas fueron un salvavidas en todo momento por lo cual estoy eternamente agradecido.

A mi tutor de tesis, el ingeniero Nelson Jara, quien siempre me motivo y estuvo dispuesto a darme una mano solventando mis dudas durante todo el proceso, compartiendo sus años de experiencia como profesional para culminar con éxito mi camino como profesional.

También quiero agradecer a Ing. Luis López, que ha estado presto para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	1
2.2. Descripción del problema . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	2
2.4. Delimitación . . . . .	3
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	3
2.4.2. Temporal . . . . .	4
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	4
2.5. Problema General . . . . .	4
2.6. Problemas Específicos . . . . .	4
<b>3. Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. Hipótesis</b>	<b>5</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	5
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	5

<b>5. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
5.1. Secadora . . . . .	6
5.1.1. Tipos de secado. . . . .	6
5.1.2. Tipos de secadores adiabáticos. . . . .	7
5.2. Descascadora . . . . .	9
5.2.1. Tipos de descascarilladoras. . . . .	9
5.3. Molido . . . . .	10
5.3.1. Tipos de molino. . . . .	11
5.4. Parámetros Iniciales . . . . .	14
5.5. Diseño Mecánico . . . . .	15
5.6. VAN Y TIR . . . . .	17
5.6.1. Análisis del valor actual neto (VAN) . . . . .	17
5.6.2. Análisis de la Tasa interna de retorno (TIR) . . . . .	17
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>18</b>
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao . . . . .	19
6.1.1. Parámetros de la Máquina Secadora de Cacao . . . . .	19
6.1.2. Parámetros de la Máquina Descascaradora de Cacao . . . . .	23
6.1.3. Parámetros de la Máquina Molino de Cacao . . . . .	26
6.1.4. Parámetros de las máquinas seleccionadas . . . . .	30
6.2. Propuesta del diseño mecánico mediante elementos finitos de la máquina procesadora de cacao. . . . .	33
6.2.1. Consideraciones del diseño . . . . .	33
6.2.1.1. Material . . . . .	33
6.2.1.2. Dimensiones . . . . .	33
6.2.1.3. Producción - capacidad . . . . .	33
6.2.2. Propuesta de diseño . . . . .	34
6.2.2.1. Propuesta de Secadora de cacao . . . . .	34
6.2.2.2. Propuesta de Descascaradora de cacao . . . . .	56
6.2.2.3. Propuesta de Molino de cacao . . . . .	64
6.3. Verificación de los elementos críticos del diseño mediante software de simulación. . . . .	68
6.3.1. Identificación de los componentes . . . . .	68
6.3.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y rendimiento . . . . .	71
6.3.3. Elección del software de simulación adecuado . . . . .	71

6.3.4.	Elaboración del modelo de simulación . . . . .	71
6.3.5.	Ejecución del análisis . . . . .	72
6.3.6.	Interpretación de los resultados . . . . .	73
6.4.	Análisis de la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao. . . . .	73
6.4.1.	Costo de la máquina secadora de Cacao . . . . .	74
6.4.2.	Costo de la máquina descascaradora de Cacao . . . . .	75
6.4.3.	Costo de la máquina molino de Cacao . . . . .	77
6.4.4.	Valor Actual Neto (VAN) . . . . .	78
6.4.5.	Tasa Interna de Retorno (TIR) . . . . .	79
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>81</b>
7.1.	Parámetros establecidos para el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao . . . . .	81
7.1.1.	Parámetros de diseño de la secadora de cacao . . . . .	81
7.1.2.	Parámetros de diseño de la descascaradora de cacao . . . . .	82
7.1.3.	Parámetros de diseño del molino de cacao. . . . .	82
7.2.	Diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao . . . . .	84
7.2.1.	Diseño mecánico de la secadora de cacao . . . . .	84
7.2.2.	Diseño mecánico de la descascaradora de cacao . . . . .	85
7.2.3.	Diseño mecánico del molino de cacao . . . . .	87
7.3.	Resultados de la simulación del diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao. . . . .	89
7.3.1.	Resultados de la simulación de la distribución dentro del tanque de la secadora . . . . .	89
7.3.2.	Resultados de la simulación del eje descascaradora de cacao . . . . .	91
7.3.3.	Resultados de la simulación del eje porta cuchillas . . . . .	96
7.4.	Resultados del análisis de la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao. . . . .	100
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>101</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>103</b>
	<b>Referencias</b>	<b>106</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>107</b>
<b>Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica</b>	<b>108</b>
<b>Anexo B: Selección de motorreductor</b>	<b>109</b>
<b>Anexo C: Factor geométrico de resistencia a la flexión</b>	<b>110</b>
<b>Anexo D: Factor Ka</b>	<b>111</b>
<b>Anexo E: Distribución de carga y factor Dinámico</b>	<b>112</b>
<b>Anexo F: Catálogo y selección de rodamiento para máquina descascaradora de cacao</b>	<b>113</b>
<b>Anexo G: Tabla de densidades aparentes</b>	<b>114</b>

## Lista de Tablas

1.	Tabla de ponderación MSC . . . . .	23
2.	Tabla de ponderación para la MDC . . . . .	26
3.	Tabla de ponderacion para la seleccion de la MMC . . . . .	30
4.	Datos del piñón . . . . .	54
5.	Diseño de rueda dentada . . . . .	55
6.	Tabla de resultados VAN y TIR . . . . .	80
7.	Parámetros de secadora . . . . .	81
8.	Parámetros de descascaradora . . . . .	82
9.	Parámetros del molino . . . . .	83
10.	Resultados de la secadora de cacao . . . . .	84
11.	Resultados de la descascaradora de cacao . . . . .	86
12.	Resultados del molino de cacao . . . . .	87
13.	Valores de simulación del eje descascaradora de cacao. . . . .	92
14.	Valores de simulación del eje porta cuchillas de molino de cacao. . . . .	97
15.	Resultados del VAN y TIR . . . . .	101

## Lista de Figuras

1.	Ubicación Universidad Politécnica Salesiana . . . . .	3
2.	Secadores adiabáticos. . . . .	8
3.	Descascaradora de cacao. . . . .	10
4.	Molino de Rodillos. . . . .	11
5.	Molino de Martillos. . . . .	12
6.	Molino de Fricción. . . . .	13
7.	Molino de tambor. . . . .	14
8.	Fases para el proceso de diseño. . . . .	16
9.	Aplicación del VAN y TIR. . . . .	18
10.	Secadora Estática Tipo Torre. . . . .	20
11.	Secadora Tipo Guardiola. . . . .	21
12.	Secadora horizontal . . . . .	22
13.	Descascarilladora de cacao . . . . .	24
14.	Descascarilladora de cacao . . . . .	25
15.	Molino de Rodillos . . . . .	27
16.	Molino de Martillos . . . . .	28
17.	Molino de Martillos . . . . .	29
18.	Factor kl. . . . .	51
19.	Factor kr. . . . .	52
20.	Resistencia a la fatiga por flexion del material seleccionado. . . . .	52
21.	Propuesta de diseño de secadora . . . . .	53
22.	Dimensiones del grano de cacao. . . . .	56
23.	Propuesta de diseño de descascaradora de cacao. . . . .	64
24.	Propuesta de diseño de MOLINO de cacao. . . . .	67
25.	Elemento crítico de la secadora de cacao . . . . .	69
26.	Elemento crítico de la descascaradora de cacao . . . . .	70
27.	Elemento crítico del molino de cacao . . . . .	71
28.	Parámetros de simulacion. . . . .	72
29.	Diseño mecánico de la secadora de cacao. . . . .	85
30.	Diseño mecánico de descascaradora de cacao. . . . .	86
31.	Diseño mecánico de molino de cacao. . . . .	88
32.	Diseño final de la máquina procesadora de cacao. . . . .	89
33.	Simulación de la distribución de aire caliente dentro del tanque de secado. . . . .	90

34.	Simulación de la distribución de las presiones y velocidad del aire dentro del tanque. . . . .	91
35.	Mallado descascaradora. . . . .	93
36.	Simulación del eje descascaradora. . . . .	94
37.	Configuración de cargas eje descascaradora. . . . .	94
38.	Simulación del eje descascaradora. . . . .	95
39.	Mallado eje porta cuchillas molino. . . . .	98
40.	Simulación del eje molino. . . . .	99
41.	Simulación del eje molino. . . . .	100

## Resumen

**E**l diseño de una máquina procesadora de cacao implica la creación de un equipo especializado para transformar el cacao en productos como chocolate, manteca de cacao o cacao en polvo. Este proceso considera diversos aspectos técnicos y operativos. Se analizan las características del cacao para determinar los requerimientos del proceso. La selección de tecnologías adecuadas es crucial, abarcando desde la trituración hasta la refinación. La eficiencia energética y la seguridad alimentaria son prioritarias, minimizando el consumo energético y garantizando la calidad del producto. La automatización y control supervisan y regulan el proceso, asegurando consistencia y calidad. Se incorpora un diseño ergonómico para facilitar la operación y el mantenimiento, reduciendo la fatiga laboral. La adaptabilidad y escalabilidad permiten ajustarse a diferentes volúmenes de producción y necesidades del cliente. En resumen, el diseño de estas máquinas busca optimizar la producción de cacao, garantizando eficiencia, calidad y seguridad en la transformación del cacao en sus diversos derivados

**Palabras clave:** máquina procesadora de cacao, productos derivados del cacao, características físicas y químicas del cacao.

## Abstract

The design of a cocoa processing machine involves creating specialized equipment to transform cocoa into products such as chocolate, cocoa butter, or cocoa powder. This process considers various technical and operational aspects. The characteristics of cocoa are analyzed to determine the process requirements. The selection of appropriate technologies is crucial, covering everything from crushing to refining. Energy efficiency and food safety are prioritized, minimizing energy consumption and ensuring product quality. Automation and control oversee and regulate the process, ensuring consistency and quality. Ergonomic design is incorporated to facilitate operation and maintenance, reducing labor fatigue. Adaptability and scalability allow adjustment to different production volumes and customer needs. In summary, the design of these machines aims to optimize cocoa production, ensuring efficiency, quality, and safety in the transformation of cocoa into its various derivatives.

**Keywords:** cocoa processing machine, products derived from cocoa, physical and chemical characteristics of cocoa.

# 1. Introducción

**E**l Ecuador, con el pasar de los años, se convirtió en el primer exportador de cacao en grano en América, por lo cual ocupa el cuarto puesto en el mundo entre todos los tipos derivados de este producto, lo que representa el aumento del 168% en los últimos 10 años según los datos recolectados y analizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería[1]. Actualmente, existe un proyecto llamado Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino de Aroma, que es ejecutado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en el mismo se ha establecido 354 hectáreas nuevas de cacao en la Zona 6, que comprende las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, por lo que la producción de esta fruta se ha visto en aumento. Las diferentes provincias han visto la oportunidad de producir cacao, por lo cual buscan pasar del proceso manual a un proceso más fácil y menos duro que el convencional, por lo que han visto la necesidad de buscar maquinaria que ayude con los tres procesos principales para el procesado de cacao (secado, descascarado y molido del cacao). Existen máquinas que realizan los diferentes procesos, pero no lo hacen en conjunto, sino por separado, es decir, se necesitan 3 máquinas diferentes, una para el secado, otra para el descascarado y finalmente una para el molido, que presenta una desventaja competitiva donde es necesario contar con un espacio físico lo suficiente amplio para adquirir estas máquinas y todo lo que conlleva la puesta a piso. Con el presente proyecto se presenta un diseño que integra los 3 procesos (secado, descascarado y molido de cacao) en una sola máquina, optimizando espacio físico y que resuelva la necesidad planteada por el cliente con respecto a los tiempos de proceso para disminuir sus costos fijos.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

El Ecuador es un país productor de cacao y es una de las fuentes de ingreso más importante del país gracias a las exportaciones de esta fruta, por lo que los productores de esta fruta buscan maquinaria que ayuden a acelerar el proceso, principalmente, de secado, descascarado y molido de cacao, ya que convencionalmente se lo realiza a mano y dependiendo de ciertos factores que no se pueden controlar como el clima, haciendo que el proceso tarde de días a semanas por lo cual representa pérdidas económicas para el país y para los productores de esta fruta. Actualmente, en el mercado existen máquinas que realizan estos procesos, pero

de forma individual, es decir, que se necesitan de tres máquinas para que cada una realice un proceso diferente (secado, descascarado y molido) de manera que los productores de esta fruta tienen que adquirir tres máquinas para completar todo el procesamiento del cacao.

## **2.2. Descripción del problema**

El Ecuador, al tener como uno de los principales ingresos económicos la exportación del cacao, busca que los productores agilicen el proceso de secado, descascarado y molido de cacao, pero el problema que se presentan a los productores es al momento de realizar las tres actividades, ya mencionadas, ya que para realizar el secado lo hacen de forma natural, es decir, necesitan de la luz solar y de condiciones climáticas aptas para que se realice este proceso por lo cual son variables que no se pueden controlar. Otro problema es al momento de descascarar, ya que lo hacen con las manos cada pepa de cacao y por último al momento de moler lo hacen con una piedra pequeña, dando como resultado que el proceso dure de días hasta semanas dependiendo de la cantidad de cosecha. Actualmente, en el mercado existen máquinas de forma individual para cada paso del proceso, por lo cual el productor tiene que realizar la compra de tres maquinarias y así tener que buscar un espacio físico para cada una y no se encuentran con el mismo proveedor, por lo cual tienen que realizar una búsqueda de maquinaria en distintos proveedores. Centrándonos en la propuesta de diseño los problemas se vuelven más específicos, como determinar los parámetros correctos para empezar la propuesta, estos dependen de varios factores como la capacidad de producción, seguridad del equipo y del operario, posteriormente el problema se centra en el diseño propiamente dicho donde es necesario aplicar conocimientos técnicos de resistencia de materiales, selección de materiales, fluidos, electrónica, entre otros además de tener alguna experticia en el tema. Finalmente, se presenta un problema en el momento de evaluar el diseño con una simulación, donde se debe establecer el principio físico más relevante del equipo para ser evaluado mediante un software.

## **2.3. Importancia y alcances**

El desarrollo del trabajo de titulación tiene una gran importancia en la industria de la producción y comercialización del cacao, donde se propone una alternativa al proceso tradicional, al diseñar una máquina que conlleva tres procesos simultáneos, ahorrando tiempo y recursos, teniendo en cuenta que el Ecuador produce más de 290.000 toneladas métricas de la reconocida “Pepa de Oro” [2], considerando que de acuerdo a la [3], el:

Ecuador lidera la producción mundial de cacao fino de aroma, controlando el 62%

del mercado global, lo que sustenta aproximadamente cien mil familias dedicadas a este cultivo. Sin embargo, estas familias enfrentan bajos niveles de productividad. La falta de políticas de apoyo ha puesto al sector en una situación de riesgo, motivando al MAGAP a implementar una política pública para su reactivación desde 2011. El sabor distintivo del cacao fino ecuatoriano lo convierte en la elección preferida de chefs y chocolateros en todo el mundo. El mercado de chocolates especiales, especialmente los oscuros con alto contenido de cacao y las coberturas, ha experimentado un crecimiento anual superior al 35%, tal como había sido anticipado por GIZ desde 2010. Este crecimiento coincide con la reactivación de mercados especializados para cacaos orgánicos, de comercio justo, con certificación rainforest alliance y de calidad de origen. (Pág. 1)

## 2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

### 2.4.1. Espacial o geográfica

El diseño de la máquina procesadora de cacao se lo realizará en la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en la Calle Vieja 12-30 y Elia Liut como se observa en la Figura 1.

#### Figura 1

*Ubicación Universidad Politécnica Salesiana.*



**Nota:** En la Figura se observa la ubicación de la UPS [4].

### **2.4.2. Temporal**

El diseño de titulación propone desarrollar la propuesta durante el periodo académico 63, específicamente entre los meses de octubre del 2023 y febrero del 2024

### **2.4.3. Sectorial o institucional**

La propuesta del trabajo de titulación "Diseño de una máquina procesadora de cacao", se encuentra dentro del sector manufacturero de máquinas industriales.

## **2.5. Problema General**

- ¿Es factible diseñar una máquina procesadora de cacao?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Es posible establecer los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao?
- ¿Es factible proponer el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao?
- ¿Se podrá verificar los elementos críticos del diseño mediante software de simulación?
- ¿Se podrá analizar la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao?

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General**

- Diseñar una máquina procesadora de cacao.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao.
- Proponer el diseño mecánico mediante elementos finitos de la máquina procesadora de cacao.
- Verificar los elementos críticos del diseño mediante software de simulación.

- Analizar la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao.

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis General**

- Se diseñará una máquina procesadora de cacao.

### **4.2. Hipótesis Específicas**

- Los parámetros iniciales establecerán el diseño de una máquina procesadora de cacao.
- Se propondrá el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao.
- Se verificará los elementos críticos del diseño mediante software de simulación.
- Se analizará la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao.

## **5. Marco Teórico**

En el Ecuador una de las principales e importantes actividades económicas es la producción del cacao, la cual cuenta con una mayor participación en el mercado a nivel internacional. Los niveles de producción en la cadena desde el cultivo hasta la industrialización del proceso son considerablemente elevados, lo que conlleva la obtención de un producto final de alta calidad destinado a su comercialización. En este sentido, los productores tienen un marcado interés en optimizar la eficiencia y rapidez de sus operaciones, centrándose especialmente en los procesos de secado, descascarado y molido del cacao.

Por tanto, estos procesos se convierten en focos de estudio y desarrollo para implementar mejoras que permitan alcanzar niveles óptimos de desempeño, en línea con ciertos parámetros predefinidos. Es esencial abordar estos aspectos con un enfoque técnico que garantice la maximización de la calidad del producto y la eficiencia en los procedimientos industriales involucrados.

## 5.1. Secadora

El procedimiento actual de secado se ejecuta mediante métodos tradicionales que aprovechan la energía térmica proporcionada por la radiación solar, lo cual implica un tiempo de secado prolongado que puede abarcar varias horas. Sin embargo, este enfoque suele incluir el secado al aire libre, exponiendo el producto a la contaminación ambiental, especialmente al humo generado por los vehículos que circulan por las vías donde se lleva a cabo el proceso. Es crucial subrayar la importancia del inicio de este proceso, ya que sienta las bases para la calidad y seguridad sanitaria del producto final. A pesar de que el inicio del proceso es crítico, se debe garantizar que todo el procedimiento de secado sea óptimo y cumpla con los estándares necesarios de asepsia para asegurar la calidad e inocuidad del producto.

Se debe garantizar en el secado del cacao que se elimine el exceso de humedad de los granos por calentamiento y se completa la formación del aroma y sabor a chocolate. Al finalizar la fermentación del cacao, el grano queda con un contenido de humedad de aproximadamente 60%, que debe ser reducido hasta un valor próximo a 8% para evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad y además para facilitar el almacenamiento, transporte, manejo y comercialización del cacao [5].

A continuación, se exponen los diversos métodos de secado que pueden ser aplicados en el contexto industrial:

### 5.1.1. Tipos de secado.

- **Secado Natural:** El término "secado natural del cacao" se refiere al método de secado que implica exponer las almendras de cacao al sol, aprovechando el calor generado por los rayos solares para secarlas de manera gradual y progresiva [6].
- **Secado Artificial:** Se emplea una corriente de aire caliente con precaución para evitar la generación de contaminantes, especialmente de humo. Como fuente de calor, se pueden utilizar diversos recursos como leña, carbón mineral, diesel, gas natural o electricidad. [7].

Una categorización habitual de los métodos de deshidratación los clasifica en dos tipos principales: procesos directos o adiabáticos, y procesos indirectos o no adiabáticos.

- **Procesos de deshidratación directos o adiabáticos** Estos procesos implican la transferencia directa de calor necesario para la evaporación de la humedad presente en el material que está siendo deshidratado. Esta transferencia de calor puede lograrse a través de medios como aire caliente, radiación infrarroja, u otros que suministren calor directamente al material. La transferencia de calor ocurre internamente en el propio material, sin requerir la intervención de un medio externo para llevar a cabo la transferencia térmica. Ejemplos comunes de este tipo de deshidratación incluyen el secado al sol, secadores de bandeja, y secadores de lecho fluidizado.
  
- **Procesos de deshidratación indirectos o no adiabáticos** En contraste, los procesos de deshidratación indirectos implican la transferencia de calor desde una fuente externa hacia el material que está siendo deshidratado. El calor se transfiere al material a través de un medio intermedio, como aire, vapor de agua o líquido térmico. Este medio de transferencia térmica se calienta mediante una fuente de calor externa y se utiliza posteriormente para evaporar la humedad del material. Este enfoque resulta útil cuando se requiere un control preciso de la temperatura o cuando el material a deshidratar es sensible al calor directo. Ejemplos de procesos de deshidratación indirecta abarcan secadores de tambor rotatorio, secadores de haz de tubos, y secadores de cinta transportadora, entre otros.

En resumen, la clasificación de los procesos de deshidratación en directos o adiabáticos e indirectos o no adiabáticos facilita la comprensión de cómo se realiza la transferencia de calor necesaria para eliminar la humedad en diversos contextos industriales y operacionales.

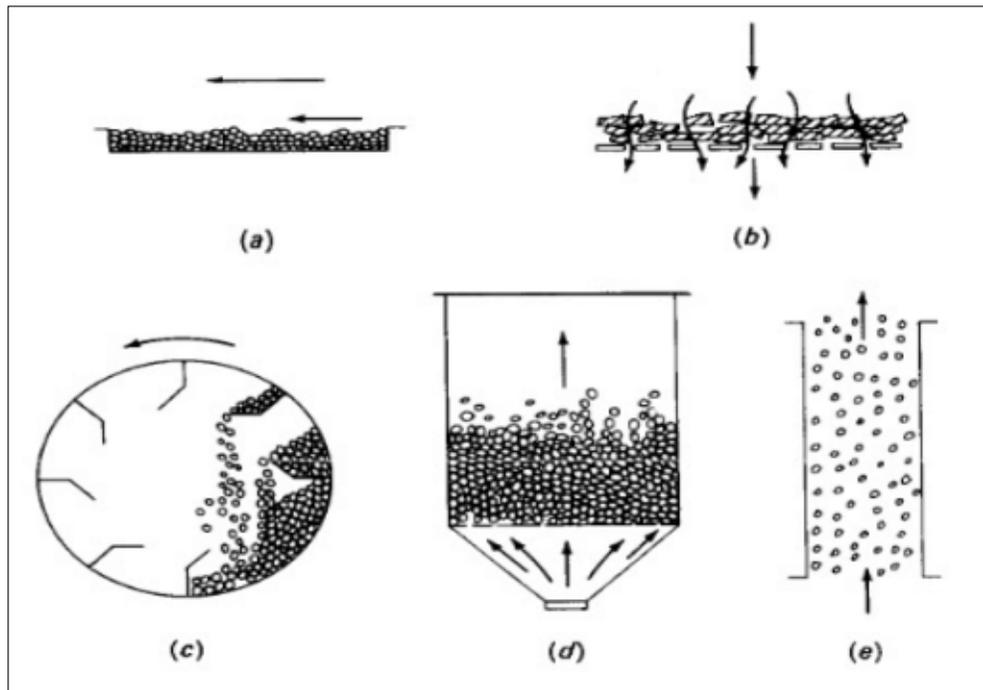
### 5.1.2. Tipos de secadores adiabáticos.

- **Secadores con circulación superficial:** El gas circula sobre el lecho o la superficie del sólido a secar
  
- **Secadores con circulación a través:** Utilizado para el secado de sólidos granulares gruesos, colocados sobre una rejilla.

- **Secadores descendentes:** Consiste en formar una lluvia de sólidos a través de un flujo de gases calientes, esto da lugar al arrastre no deseado de partículas finas.
- **Secadores de lecho fluidizado:** El gas caliente pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho.
- **Secadores de mezcla y separación:** Arrastrando los sólidos con un flujo de gas a altas velocidades y transportándolos neumáticamente desde un dispositivo de mezcla hacia un separador mecánico.

**Figura 2**

*Secadores adiabáticos.*



**Nota:** En la Figura se observa los procesos adiabáticos previamente descritos [6].

## 5.2. Descascadora

El descascarillado es un proceso fundamental en la transformación del cacao, mediante el cual se elimina la cáscara, la capa externa que envuelve la semilla de cacao. Independientemente del uso específico que se le dé a los granos de cacao en la industria chocolatera, es imprescindible someterlos al proceso de descascarillado antes de ser convertidos en pasta o licor de cacao.

Este procedimiento, de vital importancia, se lleva a cabo con el fin de separar físicamente la cáscara del grano de cacao, lo que facilita la posterior extracción de la almendra de cacao, la parte interna del grano que contiene los elementos esenciales para la producción de chocolate y otros productos derivados del cacao[8].

El descascarillado se realiza mediante equipos y maquinaria especializada que permite una separación eficiente de la cáscara sin dañar la almendra de cacao. Este proceso es crítico para garantizar la calidad y pureza de los productos finales elaborados a partir del cacao, ya que la presencia de restos de cáscara puede afectar negativamente el sabor, la textura y la calidad del chocolate y otros derivados.

En resumen, el descascarillado constituye una etapa indispensable en la cadena de producción del cacao, asegurando que los granos estén listos para su posterior procesamiento y transformación en productos finales de alta calidad en la industria chocolatera y de confitería.

### 5.2.1. Tipos de descascarilladoras.

- **Descascarilladora de rodillos:** El proceso de descascarillado llevado a cabo por esta máquina se basa en un diseño que utiliza discos estriados, uno de ellos fijo y el otro móvil. Entre estos discos estriados se posicionan los granos de cacao, los cuales son sometidos a un movimiento de fricción entre ambos discos. Es gracias a esta acción de fricción y al diseño de las estrías que se produce el desprendimiento de las cascarillas de los granos de cacao[9].

La disposición de los discos estriados permite que los granos de cacao sean sujetados firmemente entre ellos, mientras que la rotación del disco móvil genera un movimiento relativo que provoca la separación de las cascarillas de los granos. Este proceso de descascarillado se beneficia de la acción de cuña que generan las estrías en los discos, lo

que ayuda a despegar las cascarillas de los granos con eficacia.

El diseño de la máquina garantiza que el descascarillado se lleve a cabo de manera uniforme y controlada, permitiendo un alto grado de precisión en la separación de las cascarillas sin comprometer la integridad de los granos de cacao.

### Figura 3

*Descascaradora de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina descascaradora de cacao [10].

### 5.3. Molido

Tras el proceso de descascarillado de los cotiledones de cacao, resulta imperativo proceder con la molienda para separar la masa de cacao de su manteca, este paso es esencial en la producción de chocolate y otros productos derivados del cacao y durante la molienda, se precisa una proporción específica de manteca de cacao para conservar la masa en un estado fluido y manejable.

El objetivo principal del proceso de molienda es reducir el tamaño de las partículas de cacao a menos de 30 micrones, ya que el tamaño resulta óptimo para garantizar una textura fina y homogénea en la masa de cacao, lo que contribuye a la calidad final del producto. La molienda

se lleva a cabo mediante equipos especializados que aplican fuerzas mecánicas para fragmentar y pulverizar los cotiledones de cacao hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado [11].

Es importante destacar que el control preciso del tamaño de partícula durante el proceso de molienda es fundamental para asegurar la consistencia y las características sensoriales deseadas en el producto final. Por lo tanto, se emplean técnicas de molienda avanzadas y se monitorea de cerca el proceso para garantizar que se cumplan con los estándares de calidad establecidos por la industria chocolatera y de confitería.

### 5.3.1. Tipos de molino.

- **Molino de rodillos:** El molino de rodillos se distingue por la finura y uniformidad del grano que produce. Hay dos tipos de rodillos que se emplean: los lisos, que se utilizan para crear granulaciones finas ajustables mediante un sistema graduado. Estos rodillos comprimen el producto a una velocidad calculada previamente, según la partícula que se esté procesando.

#### Figura 4

*Molino de rodillos.*

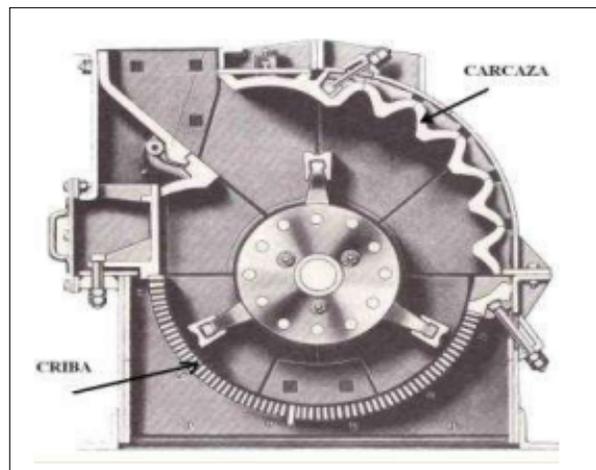


**Nota:** En la Figura se observa la maquina que usa rodillos para moler el cacao [11].

- **Molino de martillo:** Es una máquina que cumple la función de moler por impacto por medio de sus martillos giratorios que utiliza un movimiento oscilatorio inverso al del rotor, cumpliendo así su función principal emitiendo golpes consecutivos contra la cámara al producto para poder triturar las veces que sean necesarias hasta cumplir con el tamaño adecuado.

### Figura 5

*Molino de martillos.*



**Nota:** En la Figura se observa la máquina que usa un mecanismo parecido a unos martillos para moler el cacao [11].

- **Molino de fricción:** En un proceso técnico, las partículas de sólidos blandos se someten a un proceso de fricción entre las caras planas estriadas de discos circulares rotatorios. Estos discos giran a una velocidad significativa, lo que genera un efecto de frotamiento que resulta en diversas aplicaciones industriales. La orientación del eje del disco puede ser tanto horizontal como vertical, dependiendo de los requerimientos específicos del proceso y del diseño de la maquinaria involucrada.

Esta configuración permite que las partículas de sólidos blandos sean sometidas a fuerzas de corte y desgaste debido a la acción de las estrías en los discos rotatorios. El resultado de este proceso de fricción es la reducción del tamaño de las partículas, así como la modificación de sus propiedades físicas, químicas o texturales, según las necesidades del

proceso industrial en cuestión

### Figura 6

*Molino de fricción.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina que usa un mecanismo en la cual fue descrita en el texto anterior [12].

- **Molino de tambor:** Los molinos de tambor se caracterizan por poseer un tambor de molienda horizontal que realiza un movimiento rotatorio alrededor de un centro de rotación definido. Dentro de este tambor cilíndrico se dispone un relleno compuesto por medios de molienda. Durante el proceso de molienda, el material alimentado es sometido a un proceso de pulverización provocado por la acción de los medios de molienda, los cuales se desplazan de manera libre dentro del tambor.

La acción de molienda en los molinos de tambor se lleva a cabo principalmente a través de fuerzas como la presión, el impacto y la acción de cizallamiento. Estas fuerzas son resultado directo del movimiento rotatorio del tambor y de la interacción entre el material a moler y los medios de molienda presentes en su interior. La combinación de estas fuerzas contribuye a la reducción del tamaño de las partículas del material, logrando la pulverización deseada.

## Figura 7

*Molino de tambor.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina que usa un mecanismo en la cual fue descrita en el texto anterior [11].

### 5.4. Parámetros Iniciales

Los parámetros iniciales se presentarán a continuación para proceder con el diseño, ya que se necesitan tomar en cuenta ciertas condiciones que la máquina procesadora de cacao debe tener para que sea lo más óptima posible y cumplir con las especificaciones necesarias del cliente.

- La temperatura de secado no debe exceder los 60 grados Celsius.
- Para un secado optimo se debe trabajar con velocidades bajas es decir entre 3 y 6 rpm.
- La humedad del cacao, que varía entre un 40% y 50% luego de la fermentación, debe reducir hasta un 8%.
- Asegurar que los granos no pueden contaminarse con humo, o con gases procedentes de los secadores.
- Secar los granos en una plataforma elevada para que no entren en contacto directo con el suelo, bien sea de tierra, asfalto o cemento, y para que no tengan acceso los animales.

- Controlar cuidadosamente la velocidad y la duración del secado al utilizar secadores artificiales, para evitar niveles elevados de acidez y/o un secado excesivo.
- En la parte de la molienda se debe obtener tamaños de partículas menores o iguales a 0.04 mm, al menos en el 60% de las partículas.
- En la molienda los nibs de cacao se componen el 54% de manteca de cacao y el 46% de partículas sólidas.
- Los granos de cacao poseen un 10% - 14% de cascarilla del peso total de la semilla, por lo que es difícil, separarlos completamente.
- En el proceso de molienda el grano de cacao debe ser reducido entre 15 y 50 micro metros.

## 5.5. Diseño Mecánico

El diseño mecánico ha desempeñado un papel fundamental en el progreso de la tecnología, a través de el podemos desarrollar adecuadamente componentes y sistemas como sillas, máquinas, herramientas, electrodomésticos, puentes, edificaciones, automóviles y naves espaciales. Los conocimientos en ingeniería mecánica nos permiten prever con cierta precisión los comportamientos de las estructuras y máquinas, y diseñarlas de manera que se ajusten a esos comportamientos requeridos [13].

El proceso de diseño debe ser cuidadosamente planificado para obtener resultados satisfactorios, ya que depende de diversos factores el cual se deben tomar decisiones sobre los materiales a utilizar, geometrías, dimensiones, tratamientos termoquímicos y superficiales, métodos de fabricación y costos, entre otros aspectos. En general, no existe una solución única para satisfacer una necesidad, por lo que es necesario considerar diferentes aspectos y criterios para obtener una solución óptima o al menos adecuada.

El diseño implica la creación de algo nuevo, ya sea un dispositivo, producto o sistema, que puede ser completamente original o una modificación de un componente existente. Con base en esto, se pueden identificar tres tipos de diseño:

- (a) Original, que consiste en la elaboración de algo por medio de un principio original.

- (b) Adaptativo, que implica la aplicación de un sistema conocido a una nueva área, pero el principio de solución sigue siendo el mismo.
- (c) De variante, que consiste en hacer variaciones de ciertos aspectos de un sistema, pero la función y el principio de solución siguen siendo los mismos.

En la Figura 8 se observa el proceso para llevar a cabo el diseño mecánico de una máquina, en esta se detalla pasos esenciales, desde la identificación de requisitos hasta la validación y optimización del diseño donde la estructura del proceso facilita su comprensión y ejecución por parte de los profesionales involucrados.

### Figura 8

*Fases para el proceso de diseño.*



**Nota:** En la Figura se observa las fases del proceso para el diseño mecánico [14].

El diseño mecánico implica la aplicación de principios de ingeniería y metodologías específicas para garantizar un desarrollo exitoso del producto final.

## **5.6. VAN Y TIR**

La importancia del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) radica en su capacidad para evaluar la viabilidad y rentabilidad de proyectos de inversión. Estas métricas son fundamentales para la toma de decisiones financieras, permitiendo comparar proyectos, considerar el valor del dinero en el tiempo, identificar riesgos y determinar la generación de valor a lo largo del tiempo. En resumen, el VAN y la TIR proporcionan información esencial para los inversores y gerentes financieros, ayudando a maximizar el rendimiento de las inversiones y contribuyendo al crecimiento y la eficiencia de las empresas.

### **5.6.1. Análisis del valor actual neto (VAN)**

El Valor Actual Neto (VAN) representa la discrepancia entre el valor presente de los ingresos proyectados de una inversión y el valor presente de los costos asociados con ella. Constituye el rendimiento mínimo deseado por el inversionista, y por debajo de este valor, el inversionista no estará dispuesto a realizar la inversión. [15].

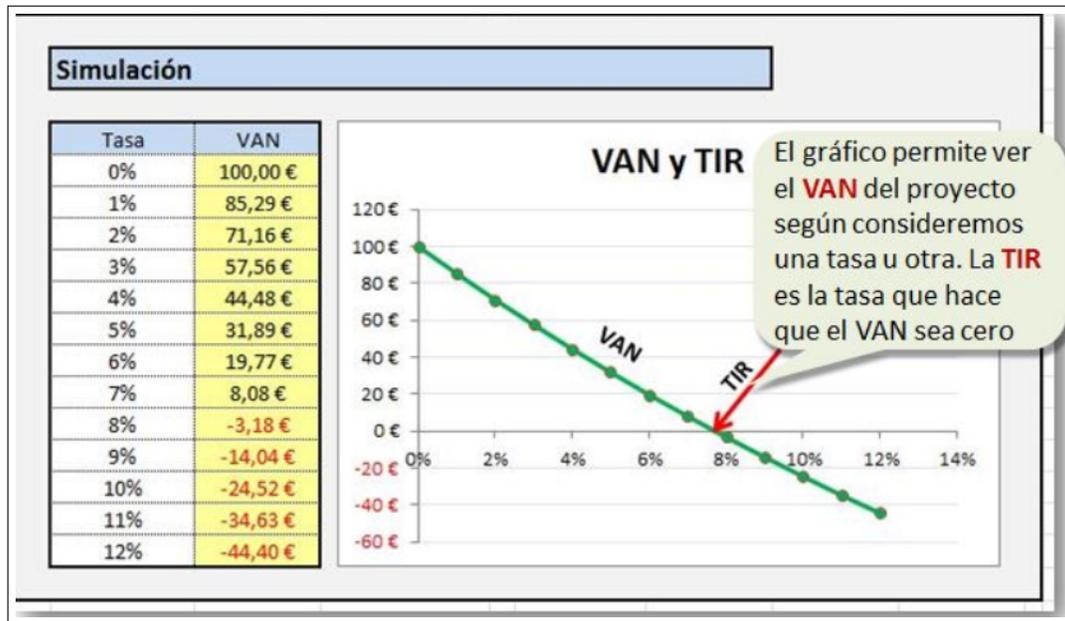
### **5.6.2. Análisis de la Tasa interna de retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una métrica financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por la inversión con el costo inicial o inversión inicial. En otras palabras, la TIR representa la tasa de rendimiento que el proyecto debe alcanzar para que su Valor Actual Neto (VAN) sea cero, lo que indica que la inversión inicial se recupera exactamente[15].

La Figura 9 se presenta un ejemplo aplicativo de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) con el objetivo de mejorar la comprensión sobre su utilidad en el análisis económico, el caso ilustra cómo estas métricas son empleadas para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto o inversión donde el VAN representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo y el costo inicial de la inversión, mientras que la TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Este ejemplo proporciona una perspectiva práctica sobre cómo se utilizan estas herramientas para la toma de decisiones financieras y la evaluación de proyectos.

**Figura 9**

*Aplicación del VAN y TIR.*



**Nota:** En la Figura se observa un ejemplo aplicativo del VAN y TIR [16].

## 6. Marco metodológico

El trabajo de titulación propuesto se enmarca en una investigación con un enfoque cuantitativo donde se explica que se partirá de datos numéricos como la cantidad de cacao a procesar, el dimensionamiento del equipo, entre otras medidas que facilitarán el inicio del diseño a proponer. Además, es de tipo aplicada a una realidad o requerimiento industrial para solventar una problemática específica, y finalmente se basa en un alcance descriptivo, donde se aplicaran conceptos y teorías demostradas como resistencia de materiales, selección de materiales, cálculo estructural, fluidos, entre otros conocimientos que garantizarán la propuesta de diseño.

A continuación se presenta la metodología o el procedimiento que se utilizó para desarrollar el trabajo de titulación propuesto.

## **6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao**

### **6.1.1. Parámetros de la Máquina Secadora de Cacao**

Para establecer los parámetros iniciales de la máquina MSC, se realizó una revisión del estado del arte de maquinaria construida anteriormente, donde a partir de esta información se valoró el mejor diseño para la construcción.

A partir de la información obtenida al realizar la revisión del estado del arte, se presenta a continuación algunas opciones en las cuales nos basaremos para realizar el diseño de la máquina procesadora de cacao. Para este punto se presenta maquinaria para el secado de cacao, el cual da inicio al proceso antes mencionado, que, una vez culminado este punto, da paso al siguiente proceso que es el descascarado.

#### **1.- Secadora estática Tipo Torre**

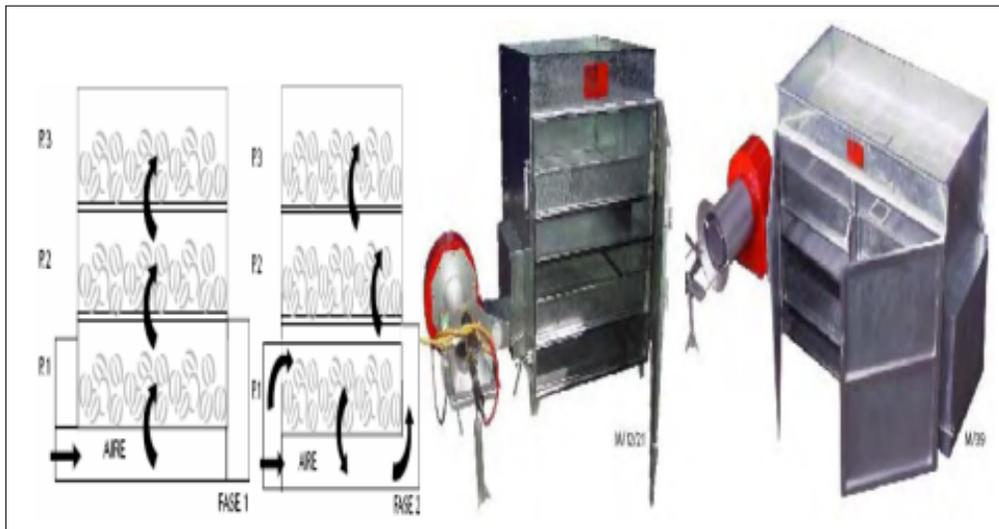
Este secador se compone de una cabina equipada con un ventilador interno que se encarga de distribuir el aire caliente horizontalmente a través de una disposición de bandejas colocadas en paralelo entre sí. Cada bandeja contiene una cantidad específica del producto que se va a secar. Este tipo de secador puede utilizar tanto energía eléctrica como energía proveniente de la combustión para calentar el aire proporcionado por el ventilador. Estas máquinas cuentan con características técnicas para que el proceso de secado sea óptimo que se presenta a continuación en el siguiente listado [17]:

- Capacidad total: 12, 21 o 39 arrobas.
- Secador de tres pisos.
- Cambio de aire en el secado
- Quemador de gas propano, incluye: encendido eléctrico, válvulas de seguridad que cortan el gas, si hay falta de llama y válvula solenoide que corta el gas si hay falla de corriente eléctrica.
- Capacidad de secado (arrobas/ 8 horas): 4, 7 y 13 horas.
- Voltaje de alimentación: 110/220 V.
- Consumo de gas propano (lb/hr): 0,6. 1 y 2.

- Consumo de energía (kW): 0,25. 0,4 y 0,75.
- Potencia del motor de ventilador (hp): 1/3. 1/2 y 1.

**Figura 10**

*Secadora Estática Tipo Torre.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina secadora estatica Tipo Torre y como esta compuesta [18].

## 2.- Secadora tipo Guardiola a Gas Semi-Industrial

Es un secador que consiste en un tambor rotatorio en donde se introduce el grano de café para ser secado. Produce un secado no homogéneo y con emanaciones de CO<sub>2</sub> al ambiente. En el siguiente listado se observan las partes de este tipo de secador: [19]

- Capacidad: 25 quintales húmedos.
- Fuente de calor: Quemador diesel con capacidad de 1 galón/h.
- Impulsor de aire: Ventilador tipo turbina de 14" de diámetro acondicionado por un motor eléctrico de 3 hp.
- Tambor: con un sistema reductor de velocidad a 2 revoluciones por minuto accionado por un motor eléctrico de 2 hp.

- Voltaje de alimentación: 220 V.
- Controles: un sistema de control térmico acoplado al quemador para encendido y apagado automático. Un termómetro exterior para control de la temperatura del aire de secado en grados centígrados

### Figura 11

*Secadora Tipo Guardiola.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina secadora Tipo Guardiola y como esta compuesta [20].

### 3.- Secadora Horizontal de Cacao

La secadora de granos incluye un intercambiador de calor a gas que suministra aire caliente a toda la cámara mediante un sistema rotor y reflectores internos que distribuyen el aire de manera uniforme. Además, está equipada con una cámara horizontal fija que utiliza un sistema abierto con placas de criba que liberan vapor y puertas laterales para descargar el producto [21].

En el siguiente listado presenta las distintas partes compuestas por esta máquina que fue realizado por [22] :

- Principio de secado: convección forzada.
- Modo de secado: Quemador a gas.
- Consumo de energía: 1 tonelada de gas por 10 quintales.
- Voltaje: 220 V.
- Motor: 3 hp.
- Temperatura máxima: 70 grados Centígrados.
- Diámetro: 1,4 m.
- Carga máxima: 5 quintales.
- Tiempo de secado: 8-12 horas.

**Figura 12**

*Secadora Horizontal.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina secadora horizontal y como esta compuesta [21].

#### 4.- Tabla de ponderación para selección de Máquina Secadora de Cacao

A partir del estudio del arte de las máquinas MSC se realiza una tabla de ponderación para la selección de la mejor opción y del cual nos basaremos para el diseño de la primera parte que consta en el secado del cacao. Para la selección del mejor sistema para secado tenemos la tabla en la cual en cada columna se encuentra cada ítem, el cual está puesto un porcentaje el mismo sobre el cual se calificara los sistemas ya mencionados.

**Tabla 1**

*Tabla de ponderación MSC*

<b>Tipos de Secadoras /Parámetros</b>	<i>Tipo Torre</i>	<i>Tipo Guardiola</i>	<i>Secador Horizontal</i>
<i>Capacidad (25 %)</i>	12	25	25
<i>Fuente de Calor (10 %)</i>	10	10	10
<i>Facilidad de Construcción (25 %)</i>	25	25	25
<i>Costo (10 %)</i>	7	7	5
<i>Optimización de espacio (15 %)</i>	15	15	5
<i>Productividad (15 %)</i>	10	15	15
<b>TOTAL (100 %)</b>	<b>79</b>	<b>97</b>	<b>85</b>

Al observar la tabla 1 observamos que la mejor opción es el secador Tipo Guardiola obteniendo una puntuación del 97% sobre 100% por encima de los demás sistemas.

#### 6.1.2. Parámetros de la Máquina Descascaradora de Cacao

En la selección de la máquina descascaradora se tiene en cuenta varias opciones que se los presenta a continuación.

##### 1.- Descascarilladora de cacao FISCHER

Máquina diseñada para pelar la cascarilla de cacao y clasificarlo en 3 tamaños, como resultado final la obtención de nibs de cacao seleccionados. Cascarilla recolectada mediante succión [23]. Las características de esta máquina son las siguientes:

- Material de fabricación: Acero inoxidable calidad AISI-304.

- Capacidades: Pequeña, mediana y gran industria.
- Funcionalidad: Uso práctico y fácil limpieza.
- Componentes: Alta durabilidad y resistencia al desgaste.
- Post Venta: Repuestos y mantenimiento preventivo

**Figura 13**

*Descascarilladora de cacao FISCHER.*



**Nota:** En la Figura se observa una de las opciones para el proceso de descascarado de cacao. [23].

## 2.- Descascarilladora de cacao VULCANO TEC

La máquina portátil separa los nibs de cacao de la cáscara en un solo proceso. Después del tostado, los granos ingresan a la tolva superior de 5 kg para ser triturados delicadamente y luego avanzan a través de un sistema de separación de cáscaras, con una eficiencia de menos del 1%, y una aspiración efectiva que solo requiere un único paso por la máquina. La cáscara separada se recoge en el ciclón posterior. [10]. A continuación se presenta las características:

- Capacidad: 20 kg/h.
- Potencia Total: 0.8 kW
- Tipo de separación de cáscara: ventilación.
- Peso aproximado del sistema: 35 kg
- Material: Acero inoxidable AISI 304.
- Potencia de motor de trabajo: 1 hp.

### Figura 14

*Descascarilladora de cacao VULCANO TEC.*



**Nota:** En la Figura se observa una de las opciones para el proceso de descascarado de cacao. [10].

### 3.- Tabla de Ponderación para la selección de la Máquina Descascaradora de Cacao

Al igual que en el punto anterior se realizó una tabla de ponderación de las dos máquinas descascaradoras de cacao para previamente seleccionar la máquina que mejor se adapte a la siguiente parte del sistema, el cual consta de sacar la cáscara de manera que separe con la fruta para luego proceder al siguiente proceso.

Para la selección del mejor sistema para secado tenemos la tabla en la cual en cada columna se encuentra cada ítem, el cual está puesto un porcentaje, el mismo sobre el cual se calificara los sistemas ya mencionados.

**Tabla 2**

*Tabla de ponderación para la MDC*

<b>Tipos de Descascaradora /Parametros</b>	<i>Descacarilladora FISCHER</i>	<i>Descacarilladora VULCANO TEC</i>
<i>Capacidad (25 %)</i>	25	25
<i>Clasificador (10 %)</i>	10	5
<i>Facilidad de Construcción (25 %)</i>	15	25
<i>Costo (10 %)</i>	7	7
<i>Optimización de espacio (15 %)</i>	10	12
<i>Productividad (15 %)</i>	15	15
<i>TOTAL (100 %)</i>	82	89

Según se evidencia en la tabla 2, la opción óptima es la descascarilladora VULCANO TEC, la cual obtiene un puntaje de 89 sobre 100. Este resultado la posiciona con una ventaja de 7 puntos sobre la siguiente alternativa en la clasificación.

#### 6.1.3. Parámetros de la Máquina Molino de Cacao

Para determinar los parámetros iniciales de la máquina maquina molino de cacao, se llevó a cabo una exhaustiva revisión del estado del arte de maquinaria previamente construida. A partir de esta revisión, se evaluaron diversos diseños con el objetivo de seleccionar el más adecuado para la construcción de la máquina.

## 1.- Molino de Tambor

El molino de rodillos se caracteriza el grano de finura y uniformidad del producto que entrega, existen dos variaciones de rodillos de acuerdo con su utilización: los rodillos lisos sirven para granulaciones finas regulables con un sistema graduable, actúan comprimiendo el producto que se inserta a una velocidad previamente calculada de acuerdo con la partícula a trabajar [9].

A continuación se presenta las características de este molino:

- Capacidad de producción: 50-120 kg/h
- Finura (micras): 100-150
- Potencia: 1,5 kW
- Voltaje 220-380 V
- Dimensiones (mm): 780x550x820

### Figura 15

*Molino de Tambor.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina molino de rodillos [24].

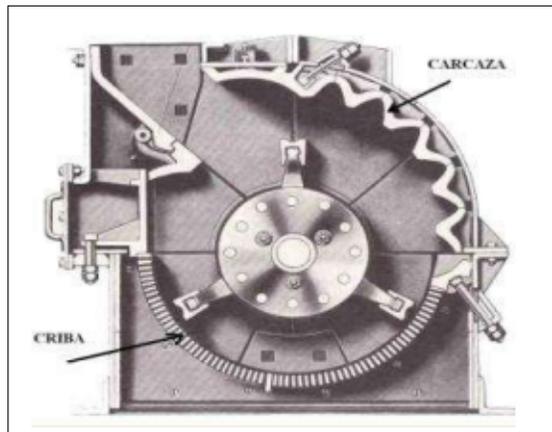
## 2.- Molino de Martillos

Se trata de un dispositivo que realiza la trituración por impacto empleando martillos giratorios que se mueven en un movimiento oscilatorio contrario al del rotor principal. Su función principal es golpear de manera consecutiva el producto contra la cámara para triturarlo repetidamente hasta alcanzar el tamaño deseado, para cumplir con este último cabe recalcar que en la cámara cuenta con rendijas en la parte inferior por donde pasa las partículas dependiendo del tamaño que se necesite la molienda.

- Capacidad de producción: 500 kg/h
- Potencia: 7,5 hp
- Voltaje 220,380,440 V
- Dimensiones (mm): 150x400x200

### Figura 16

*Molino de Marrtillos.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina molino de martillos [24].

## 3.- Molino de Rodillos

El molino de rodillos se distingue por la finura y uniformidad del grano que produce. Hay dos tipos de rodillos según su uso: los rodillos lisos son adecuados para obtener granulaciones

finas ajustables con un sistema graduado. Por otro lado, los rodillos de púas son ideales para lograr una granulación intermedia, ya que funcionan principalmente mediante el cizallamiento de la materia prima.

- Capacidad de producción: 500 kg/h
- Potencia: 7,5 hp
- Voltaje 220,380,440 V
- Dimensiones (mm): 150x400x200

### **Figura 17**

*Molino de Marrtillos.*



**Nota:** En la Figura se observa la maquina molino de rodillos [24].

#### **4.- Tabla de ponderación para la Selección de la Maquina Molino de Cacao**

Basándonos en el estudio del arte se encontró que la máquina más apta con el fin de que se ajuste al sistema es el molino de martillo, ya que las demás máquinas que se encontraron no cumplían con el proceso final, por lo que la máquina que cumplía con todas las características fue el molino de martillos.

Es importante recalcar que se establecieron diferentes aspectos para el diseño de la máquina procesadora de cacao y cada uno de ellos se presentan a continuación.

**Tabla 3**

*Tabla de ponderacion para la seleccion de la MMC*

<b>Tipos de Molinos /Parametros</b>	<i>Molino de Tambor</i>	<i>Molino de Martillos</i>	<i>Molino de Rodillos</i>
<i>Capacidad (25 %)</i>	15	25	25
<i>Sistema de molido (10 %)</i>	10	10	5
<i>Facilidad de Construcción (25 %)</i>	20	25	10
<i>Costo (10 %)</i>	7	7	5
<i>Optimizacion de espacio (15 %)</i>	12	15	8
<i>Productividad (15 %)</i>	15	15	15
<i>TOTAL (100 %)</i>	79	97	68

#### **6.1.4. Parámetros de las máquinas seleccionadas**

##### **1.- Máquina secadora de cacao**

Al seleccionar la máquina secadora de cacao basado en una previa investigación de las tecnologías presentes actualmente en el mercado con ayuda de una tabla de ponderación, se llegó a la conclusión de la que cumple con todos los requisitos es la secadora tipo Guardiola.

A continuación, se muestra los parámetros que tiene la máquina ya mencionada para la propuesta de diseño.

-Capacidad	5 qq
-Obra Civil	Piso plano
-Operación	6 kg de gas por quintal de café pergamino
-Dimensiones	2,18x1,96x1,49 m
-Diámetro del eje	0,20 m
-Diámetro del cilindro	0,58 m
-Largo del cilindro	0,46 m
-HP ventilador	1 hp

Es esencial conocer las partes que conforma la máquina secadora de cacao, por lo que en el siguiente listado se enlista las partes que lo conforman y los materiales necesarios para su construcción:

- Fabricado en acero al carbón
- Terminado con esmalte alquídico anticorrosivo
- Forró de Lam. Cal 14 con perforaciones diámetro de 3/16.
- Tipo Guardiola Rotatoria
- Transmisión mecánica
- Termómetro
- Quemador tipo cañón
- Dos motores eléctricos (se especifican en cotización)
- Chumaceras con baleros
- Compuertas de carga y descarga
- Conducto de distribución de aire
- Base de AR de 2 pulgadas x 2 pulgadas
- Interruptores para encender y apagar motores
- Llave de gas para regular la temperatura

## **2.- Máquina descascaradora de cacao**

Siguiendo el mismo método utilizado para elegir la máquina secadora, se lleva a cabo un proceso similar para seleccionar la máquina descascaradora, empleando una evaluación con múltiples criterios mediante una tabla de ponderación. Tras un análisis minucioso, la VULCANO TEC ha obtenido la puntuación más alta, destacándose por su capacidad de procesamiento, eficiencia energética, versatilidad operativa y durabilidad, con un rendimiento sobresaliente y una sólida fiabilidad, la VULCANO TEC se convierte en la elección preferida para satisfacer las necesidades específicas de descascarado en nuestra planta además, sus ventajas en mantenimiento y servicio postventa aseguran un funcionamiento continuo y sin contratiempos. En resumen, la elección de la máquina VULCANO TEC se basa en criterios rigurosos, buscando optimizar la eficiencia y rentabilidad de nuestros procesos de producción, donde sus características se presenta en el siguiente listado.

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| -Capacidad              | 20 kg/h                                  |
| -Material               | AISI 304                                 |
| -Dimensiones            | 0,65x0,70x1,2 m                          |
| -Motor                  | 1hp-1800 RPM 0.75kW                      |
| -Tolva de alimentación  | Tipo pirámide para almacenar el producto |
| -Reductor               |  |
| -Variador de frecuencia |  |

La máquina se caracteriza por el siguiente listado que también se encuentran las partes que la conforman:

- Clasifica los nibs en diferentes tamaños.
- Separa las cascarillas por sistema de succión.
- Está equipado con un variador de frecuencia
- Tolva de alimentación tipo pirámide con sistema de tornillo sinfín para transportar el producto.
- Cámara de triturado.
- Sistema con rodillo ranurado para quebrar el producto
- Sistema de ventilación

### **3.- Máquina molino de cacao**

Una vez realizada la tabla de ponderación de las maquinas que se encontraron dentro del mercado, la máquina que cumple con los requerimientos para finalizar el proceso, fue el molino de martillos, que, basándonos en diferentes aspectos para puntuar en la tabla de ponderación presentada, la que obtuvo el mayor puntaje fue el molino de martillos el mismo se presenta las características a continuación:

- Capacidad: 500 kg/h
- Material: ASTM A-36
- Motor: 10 hp
- Transmision: Polea- banda
- Tolva de alimentación: Tipo pirámide para almacenar el producto

Las partes de la máquina molino de cacao se presenta a continuación:

- Consiste de un rotor horizontal o vertical unido a martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa.
  - En la parte inferior están dotados de un tamiz fijo o intercambiable.
- Puede operar a más de 1000 rpm
- El uso de tamices gruesos produce partículas de menor tamaño
  - Tolva de alimentación.
  - Cámara de molienda.
  - Martillos giratorios.

## **6.2. Propuesta del diseño mecánico mediante elementos finitos de la máquina procesadora de cacao.**

A continuación se presentan diferentes aspectos considerados para el diseño de la máquina procesadora de cacao.

### **6.2.1. Consideraciones del diseño**

#### **6.2.1.1. Material**

El material considerado en la estructura de soportes es el acero ASTM A-36, el cual será forrado internamente con lámina de acero inoxidable AISI 316 en las partes donde exista contacto con el cacao para garantizar que el producto al final del proceso se encuentre en las condiciones óptimas para el consumo

#### **6.2.1.2. Dimensiones**

Se consideró los siguientes aspectos para dimensionar la máquina secadora de cacao:

- Aspectos ergonómicos: Basándonos en la norma ISO 11228 se contemplan dos posibilidades, la altura de los codos (111 cm en hombres y 105 cm en mujeres) o la altura de los nudillos del trabajador (79 y 72 respectivamente) estas alturas son normalizadas para evitar riesgos ergonómicos por lo que será necesario tomar en cuenta al momento de presentar la propuesta de diseño.
- Ahorro de energía: En el paso del secado al descascarado y terminar con el proceso de molido se utiliza la gravedad para continuar con el proceso antes mencionado sin necesidad de utilizar otros tipos de energías (por ejemplo energía mecánica, el utilizar bandas transportadoras para cada proceso).
- Calidad: Los materiales seleccionados presentan características que cumplen con la calidad tanto mecánica como el producto final sea de consumo humano.

#### **6.2.1.3. Producción - capacidad**

- Tiempos: Se reduce tiempos, ya que el proceso de tres máquinas lo realizara una sola máquina, acortando tiempos de un proceso a otro, reflejado esto en la producción.

- Costos: Explicado los tiempos al realizar una máquina más óptima tendrá un costo mayor, pero la inversión que se realiza se justificara con las ganancias que genere la misma al reducir tiempos y personal.

## 6.2.2. Propuesta de diseño

### 6.2.2.1. Propuesta de Secadora de cacao

#### 1.- Dimensionamiento del cilindro

Para el dimensionamiento del cilindro en donde se realiza la primera etapa que es el secado, se deben considerar algunos aspectos como por ejemplo la densidad del grano de cacao, para este caso de diseño, lo que permitirá el dimensionamiento del cilindro.

En el Anexo G se muestra las densidades de algunos productos agrícolas, para lo cual será necesario tener en cuenta al momento de realizar los cálculos respectivos. Para el dimensionamiento del cilindro el peso del cacao es fundamental, ya que es de interés de estudio para el presente proyecto. Se toma el dato del cacao grano fresco que es de  $900 \text{ kg}/\text{m}^3$

Con el dato de la densidad aparente se procede con el cálculo.

Se tiene que:

$$\rho_{cacao} = 900 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (1)$$

Una vez obtenido la densidad del cacao se procede a encontrar el volumen específico por lo que la densidad es inversamente proporcional al volumen específico:

$$v = \frac{1}{\rho_{cacao}} \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$v = 0.00111 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto, el volumen es:

$$V_{cacao} = v \cdot m \quad (3)$$

Donde:

$v$  = Volumen específico  $m^3/kg$ .

$m$  = Masa del cacao [500 kg]

$$V_{cacao} = 0,00111 \frac{kg}{m^3} \cdot 500kg$$

$$V_{cacao} = 0,555m^3$$

Una vez obtenido el volumen se va a determinar la longitud que necesita el mismo para cumplir con la capacidad y cantidad de cacao que se va a realizar el secado, por lo tanto, se toma en consideración que se utilice una plancha completa (1230 x 2400 mm) y así obtenemos el diámetro con la siguiente fórmula:

$$P = \pi \cdot D \quad (4)$$

Donde:

$P$  = Perimetro [2440 mm]

$D$  = Diámetro

$$D = \frac{2440mm}{\pi}$$

$$D = 776,7mm$$

Una vez que se obtiene el diámetro procedemos a encontrar la longitud necesaria para el volumen calculado:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (5)$$

Donde:

$V_{cilindro}$  = Volumen del cilindro [0,555  $m^3$ ]

$r$  = Radio del cilindro [0,388 m]

L= Longitud del cilindro [m]

$$L = 1,17m$$

## 2.- Cálculo y selección del motor

En el siguiente apartado se realiza el cálculo correspondiente a la selección del motor mediante la obtención de la inercia que el motor deberá vencer para generar el momento en la cámara de secado. A se aplica la siguiente ecuación:

$$\Sigma M = \Sigma I \cdot \alpha \quad (6)$$

Donde:

M= Momento [N · m]

I= Inercia de masas [kg · m<sup>2</sup>]  $\alpha$  = Aceleración angular

Se procede a calcular la sumatoria de inercia:

$$\Sigma I = I_{cil} + I_{ale} + I_{cacao} \quad (7)$$

$I_{cil}$  = Inercia del cilindro [kg · m<sup>2</sup>]

$I_{ale}$  = Inercia de las aletas [kg · m<sup>2</sup>]

$I_{cacao}$  = Inercia de la masa de cacao [kg · m<sup>2</sup>]

El cilindro de secado al ser un tubo circular se puede encontrar su inercia.

$$I_{cil} = \pi \cdot L \cdot \rho_{inox304} \cdot \frac{D_{ext}^2 - D_{int}^2}{64} \quad (8)$$

Donde:

L = Longitud del cilindro [m]

$\rho_{inox304}$  = Densidad del acero inoxidable 304 [7930  $\frac{kg}{m^3}$ ]

$D_{ext}$  = Diámetro exterior del tambor[m]

$D_{int}$  = Diámetro interior del tambor[m]

$$I_{cil} = 5,6kg \cdot m^2 \quad (9)$$

Dentro del cilindro se ha colocado aletas con el fin de remover el cacao dentro del cilindro para un secado más uniforme:

$$I_{ale} = 2 \cdot (I_{ale} + I_{barra}) \quad (10)$$

Donde:

$I_{eje}$  = Inercia del eje  $kg \cdot m^2$

$I_{barra}$  = Inercia de la barra  $kg \cdot m^2$

En la inercia del eje se tiene la siguiente ecuación:

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho_{material} \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{64} \quad (11)$$

Donde:

$L$  = Longitud del eje [0,15 m]

$\rho_{material}$  = Densidad del acero [7860  $kg/m^3$ ]

$D_{ext}$  = Diámetro exterior del tambor [0,77 m]

$D_{int}$  = Diámetro interior del tambor [0,762 m]

$$I_{eje} = 0,7093kg \cdot m^2$$

Inercia de la barra

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot L_{barra} \cdot \rho_{material} \cdot d_{barra}^4}{16} + \frac{\pi \cdot L_{barra}^3 \cdot \rho_{material} \cdot d_{barra}^4}{12} \quad (12)$$

Donde:

$L_{barra}$  = Longitud de la barra [0,55 m]

$\rho_{material}$  = Densidad del acer [7860 kg/m<sup>3</sup>]

$d_{barra}^2$  = Distancia de barra a barra [0,33 m]

$$I_{barra} = 14,1264kg \cdot m^2$$

La inercia en las aletas será igual:

$$I_{ale} = 2 \cdot (I_{eje} + I_{barra}) \quad (13)$$

$$I_{ale} = 2 \cdot (0.7093kg \cdot m^2 + 14.1264kg \cdot m^2)$$

$$I_{ale} = 29,67kg \cdot m^2$$

### **Cálculo de inercia producida por el cacao por el cacao en la cámara de secado.**

El mayor esfuerzo se produce al momento de que los granos ingresan en la cámara de secado, por lo cual el motor realiza el mayor esfuerzo. Una vez que empieza a girar el cilindro es donde se genera la mayor potencia en el motor y por tal motivo se busca la inercia en esta condición de operación. Se supone que el cacao ocupara el 50% del perímetro en el cilindro rotativo, por lo que se tiene:

$$P = 0.5 \cdot \pi \cdot d_i \quad (14)$$

Donde:

$P$  = Perímetro [m]

$d_i =$  Diámetro interior del cilindro [0.762 m]

$$P = 1,19m$$

Una vez que se obtiene el perímetro se procede a encontrar el ángulo beta, el cual servirá en el cálculo del momento de inercia que ocupa el cacao con respecto al eje:

$$2\beta = \frac{P \cdot 360}{\pi \cdot r_{int}}$$

$$2\beta = \frac{1.19m \cdot 360}{\pi \cdot 0.381}$$

$$\beta = \frac{357.91}{2}$$

$$\beta = 178.95^\circ$$

$$\beta = 3,12rad$$

Con el ángulo beta obtenido se procede con el cálculo del momento polar de Inercia ( $I_p$ ):

$$I_p = I_x + I_y \quad (15)$$

$$I_x = \frac{r^4}{4} \cdot [\beta - (\sin \beta \cdot \cos \beta + ((\sin \beta)^3) \cdot \cos \beta)] \quad (16)$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} \cdot [3\beta - (3 \sin \beta \cdot \cos \beta + ((2 \sin \beta)^3) \cdot \cos \beta)] \quad (17)$$

En las ecuaciones 16 y 17 una de sus variables es el radio, para realizar el procedimiento es necesario encontrar el valor de la variable:

$$r = \frac{d_{int}}{2} \quad (18)$$

$$r_{int} = \frac{0.762m}{2}$$

$$r_{int} = 0,381m$$

Momento de inercia en x:

$$I_x = \frac{0381m^4}{4} \cdot [3 \cdot 3.12 - (\sin 3.12 \cdot \cos 3.12 + ((\sin 3.12^3) \cdot \cos 3.12)]$$

$$I_x = 0,001655m^4$$

Momento de inercia en y:

$$I_y = \frac{0.381m^4}{12} \cdot [3 \cdot 3.12 - (3 \sin 3.12 \cdot \cos 3.12 + ((2 \sin 3.12^3) \cdot \cos 3.12)] \quad (19)$$

$$I_y = 0,001655m^4$$

Inercia del cacao:

$$I_{cacao} = \rho_{cacao} \cdot L_{cil} \cdot I_p \quad (20)$$

Donde:

$\rho_{cacao}$  = Densidad del cacao [900 kg/  $m^3$ ]

$L_{cil}$  = Longitud del cilindro [1,17 m]

$I_p$  = Momento Polar de Inercia

$$I_{cacao} = 50,643kg \cdot m^4$$

Encontrando la sumatoria de inercias se reemplaza en la ecuación 7.

$$\Sigma I = I_{cil} + I_{ale} + I_{cacao}$$

$$\Sigma I = 5,6kg \cdot m^2 + 50,643kg \cdot m^2 + 29,67kg \cdot m^2$$

$$\Sigma I = 85,913kg \cdot m^2$$

### **Cálculo del momento de torsión.**

Al haber obtenido la inercia total, el siguiente paso es encontrar el momento torsor que el motor realiza sobre el eje, sin olvidar que existe un instante de torsión opuesto que es generado por la masa de cacao que se encuentra en el interior del cilindro al entrar en contacto con las paredes dentro del cilindro, ya que esto ocasiona un deslizamiento generando el efecto antes mencionado.

$$M_T - M_0 = \Sigma I \cdot \alpha \quad (21)$$

Donde:

$M_T$ = Momento torsión del motor al eje [Nm]

$M_0$ = Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café [Nm]

$I$ = Inercia de masas [ $kg \cdot m^2$ ]

$\alpha$ = Aceleración angular

Se calcula el momento opuesto por el deslizamiento del cacao.

$$M_0 = m_{cacao} \cdot g \cdot r_{int} \quad (22)$$

Donde:

$M_0$ = Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café [Nm]

$m_{cacao}$ = Masa total de cacao [500 kg]

g= Gravedad  $[9,81 \frac{m}{s^2}]$

$$M_0 = 1868,805Nm$$

Como se había establecido en los parámetros iniciales los rpm que se debe trabajar para un secado óptimo van desde 3 a 6 por lo que en este caso trabajaremos con 4 rpm o 0.419 rad/s que será necesario para el cálculo de la aceleración angular. Además, si tiene el dato de arranque del motor se establece un tiempo de 3 segundos al ser un arranque directo. Por lo tanto, la fórmula de la aceleración angular es la siguiente:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (23)$$

Donde:

$\alpha$ = Aceleración angular [rad/seg]

$\omega_f$ = Velocidad final [0,419 rad/seg]

$\omega_0$ = Velocidad inicial [0 rad/seg]

t= Tiempo de arranque [3s]

$$\alpha = 0,1396 \frac{rad}{s}$$

Calculo Momento Torsor.

$$M_T = (\Sigma I \cdot \alpha) + M_0 \quad (24)$$

Se sustituye en la fórmula los valores que ya se habían encontrado previamente, como es la suma de las Inercias, la velocidad angular y el momento opuesto producido por los granos de cacao y así obtenemos el Momento Torsor.

$$M_T = [85,913(kg \cdot m^2) \cdot 0,1396(\frac{rad}{s})] + 1868,805Nm$$

$$M_T = 1880,8Nm$$

Potencia del Motor.

$$P_{mot} = M_T \cdot n_2 \quad (25)$$

Donde:

$P_{mot}$  = Potencia del motor [HP]

$M_T$  = Momento Torsor [1880.8 Nm]

$n_2$  = Velocidad de giro [rad/s]

$$P_{mot} = 788,05W = 1,05hp$$

Comercialmente no existe motor de 1,05 hp por lo que se escoge un motor de 1,5 hp.

A la potencia de trabajo se multiplica por un factor de seguridad, el cual depende de las condiciones y características de uso.

Donde:

$F_s = 1,5$  para trabajos mayores con entrada constante y choques.

Obteniendo este dato se determina la potencia requerida.

$$P_{Requerida} = P_T \cdot F_s \quad (26)$$

$$P_{Requerida} = 2,5hp$$

En el mercado no existe motor de 2,5 hp, por lo que se opta elegir un motor de 3 hp. En el anexo B se observa el motor seleccionado.

### **3.- Cálculo de engranajes para la transmisión.**

Para el cálculo de engranajes se tiene los datos en el que la potencia de motor es de 3 hp a una velocidad de 1800 rpm y a la salida se necesita que el tanque gire a una velocidad de 4 rpm por lo que se tiene los siguientes datos iniciales para el procedimiento de la transmisión del tanque:

$n_0$ = Velocidad inicial [1800 rpm]

$n_s$ = Velocidad de salida [4 rpm]

$P$ = 3hp = 2,2 kW

$m$ = 8

$d_{extg}$ = Diámetro exterior rueda dentada [730 mm]

$d_{extp}$ = Diámetro exterior piñón [110 mm]

$\phi$ =  $20^0$

La primera parte de cálculo se realiza para encontrar los diámetros primitivos de la rueda dentada y del piñón.

$$d_{pp} = d_{extp} - 2m \quad (27)$$

Donde:

$d_{pp}$ = Diámetro primitivo del piñón [mm]

$$d_{pp} = 94mm$$

$$d_{pg} = d_{extg} - 2m \quad (28)$$

Donde:

$d_{pg}$ = Diámetro primitivo de la rueda dentada [mm]

$$d_{pg} = 714mm$$

Una vez encontrado los diámetros primitivos del piñón y rueda dentada se aplica la ecuación 29 para encontrar los números de dientes para el piñón y la rueda dentada:

$$N = \frac{d_p}{m} \quad (29)$$

Donde:

$N$ = Número de dientes.

$d_p$ = Diámetro primitivo

El número de dientes para el piñón se tiene a continuación:

$$N_p = \frac{94}{8}$$

$$N_p = 11,75$$

Como no se puede realizar un número de dientes de 11.75 lo subimos al inmediato superior que es de 12 dientes, por lo tanto, se tiene que el número de dientes para el piñón es:

$$N_p = 12$$

El número de dientes para la rueda dentada se tiene a continuación:

$$N_g = \frac{714}{8}$$

$$N_g = 89,25$$

Como no se puede realizar un número de dientes de 89.25 lo subimos al inmediato superior que es de 90 dientes, por lo tanto, se tiene que el número de dientes para el piñón es:

$$N_g = 90$$

Con el número de dientes se calcula la razón de velocidad aparente en la ecuación:

$$m_v = \frac{N_2}{N_3} \quad (30)$$

Donde:

$$N_2 = N_p [12]$$

$$N_3 = N_g [90]$$

Por lo tanto, se tiene una relación de velocidad:

$$m_v = 0,133333 \quad (31)$$

Si el valor absoluto de  $m_v$  es  $<1$  se trata de reducción. Una vez que se obtiene el valor absoluto  $m_v$  se calcula  $m_g$  parcial con la siguiente ecuación:

$$m_g = \frac{1}{m_v} \quad (32)$$

Por lo tanto,  $m_v$  parcial es igual:

$$m_g = 7,5$$

Aplicamos la siguiente ecuación para encontrar la relación de velocidades del sistema:

$$m_{vs} = \frac{ns}{n0} \quad (33)$$

Finalmente obtenemos la razón de velocidad del sistema:

$$m_{vs} = 0,00222222 \quad (34)$$

Al obtener  $m_g$  y  $m_{vs}$  aplicamos la siguiente ecuación para encontrar el  $m_g$  general:

$$m_{Gg} = \frac{1}{m_{vs}} \quad (35)$$

Tenemos finalmente  $m_{Gg}$

$$m_{Gg} = 450$$

Al tener los datos necesarios de relaciones de velocidad y la relación general del sistema se procede con el cálculo para la relación de reducción del mismo:

$$m_{Gr} = \frac{m_{Gg}}{m_{vs}} \quad (36)$$

$$m_{Gr} = 60$$

Una vez obtenido la potencia que necesita el sistema ( $P = 3 \text{ Hp}$ ) y la relación de reducción ( $m_{Gr} = 60$ ) se procede a realizar la selección del motorreductor. En el Anexo C se observa la selección del motorreductor.

Una vez obtenido los resultados ajustamos los diámetros exteriores del piñón y la rueda dentada y con los mismos encontramos la razón de contacto que debe ser entre 1.4 y 2. Así obtenemos los siguientes datos para el cálculo correspondiente:

$$d_p = m \cdot N_2$$

$$d_p = 96mm$$

Diámetro final de piñón.

$$d_g = m \cdot N_3$$

$$d_g = 720mm$$

Diámetro final de la rueda dentada.

El addendum va a ser igual para el piñón y la rueda dentada y este valor corresponde al módulo:

$$a = m = 8$$

Se tiene el  $r_p$  que es igual al valor del diámetro del piñon dividido para 2 asi obtenemos:

$$r_p = 48 \text{ mm}$$

Se tiene el  $r_g$  que es igual al valor del diámetro de la rueda dentada dividido para 2 así obtenemos:

$$r_g = 360 \text{ mm}$$

Finalmente, se tiene el ángulo de presión que será entre 20 a 25 grados. Para este caso utilizamos un ángulo igual a 20 grados.

$$\phi = 20^\circ$$

La variable C se obtiene a partir de:

$$C = \frac{d_p + d_g}{2} \quad (37)$$

Entonces:

$$C = 408mm \quad (38)$$

Con los datos presentados previamente se procede a calcular Z:

$$Z = \sqrt{(r_p + a_p)^2 - (r_p \cdot \cos \phi)^2} + \sqrt{(r_g + a_g)^2 - (r_g \cdot \cos \phi)^2} - C \cdot \sin \phi \quad (39)$$

Una vez que se obtiene finalmente todos los datos se halla Z:

$$Z = 38,50$$

Con el valor de Z se halla la razón de contacto ( $m_p$ ):

$$m_p = \frac{Z}{m \cdot \pi \cdot \cos \phi} \quad (40)$$

$$m_p = 1,43 \quad (41)$$

La condición de razón de contacto debería estar entre 1.4 y 2 por lo que se puede observar que los datos que se han elegido cumplen con la condición, ya que se encuentra en el rango especificado.

### **Esfuerzo a flexión.**

Con los datos previamente calculados de diámetros del piñón y rueda dentada, módulos y ángulo de presión se calcula el esfuerzo a flexión que sufren los engranes.

$$\sigma_b = \frac{W_t}{F \cdot J \cdot m} \cdot \frac{K_a \cdot K_m}{K_v} \cdot K_s \cdot K_B \cdot K_I \quad (42)$$

Donde:

$W_t$  = Carga Para lo cual tenemos la siguiente fórmula para encontrar la carga en el piñón:

$$W_t = \frac{2 \cdot T_p}{d_p} \quad (43)$$

$T_p$  es el torque que se genera en el piñón. Se obtiene con la formula:

$$T_p = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_{0r}} \quad (44)$$

Donde:

$P$ = Potencia del motor [3 HP]

$n_{0r}$ = Velocidad del motorreductor [28 rpm]

$$T_p = 763Nm$$

Reemplazando los valores de  $T_p$  y  $d_p$  se obtiene:

$$W_t = 15902N$$

$F$ = El ancho de cara se obtiene:

$$F = 14 \cdot m = 14 \cdot 8 = 112mm \quad (45)$$

$J$ = Factor geométrico de Resistencia.

Para el piñón se tiene:

$J_p = 0.34$  En el anexo D se observa el valor de  $J$  para el piñón que tiene 12 dientes y para el engranaje que tiene 90 dientes, lo cual se realizó una interpolación para encontrar dichos datos.

El factor  $K_a$  es igual a 1, ya que va a ser impulsada de manera uniforme. Este valor lo podemos ver en el anexo D.

El factor  $K_m$  es igual a 1.7 como observamos en el anexo E.

El factor  $K_v$  es se lo encuentra mediante tablas es igual a 0.59

El factor  $K_s$  es igual a 1 este factor hace referencia el factor de tamaño de Marin. La AGMA no establece por el momento estándar para el factor de tamaño, por lo que a este factor se lo da un valor igual a 1.

El factor  $K_B$  es igual a 1

El factor  $K_I$  es igual a 1 para engranaje normal y para engranajes locos este valor es de 1.42 por lo que al ser un engranaje normal este adquiere valor de 1.

Se reemplaza las incógnitas encontradas en la ecuación 42 y se obtiene el esfuerzo a flexión en el piñón:

$$\sigma_{bp} = 150404Pa = 150,404MPa$$

El número de ciclos del piñón se encuentran a partir de las rpm que entrega el motorreductor (28 rpm) y este dato será necesario para hallar  $K_I$  así que tenemos:

$$nciclos_p = \frac{28ciclos}{min} \cdot \frac{60min}{h} \cdot \frac{20h}{dia} \cdot \frac{335d}{año} \cdot 5años \quad (46)$$

Se tiene que:

$$nciclos_p = 5.628 \cdot 10^7$$

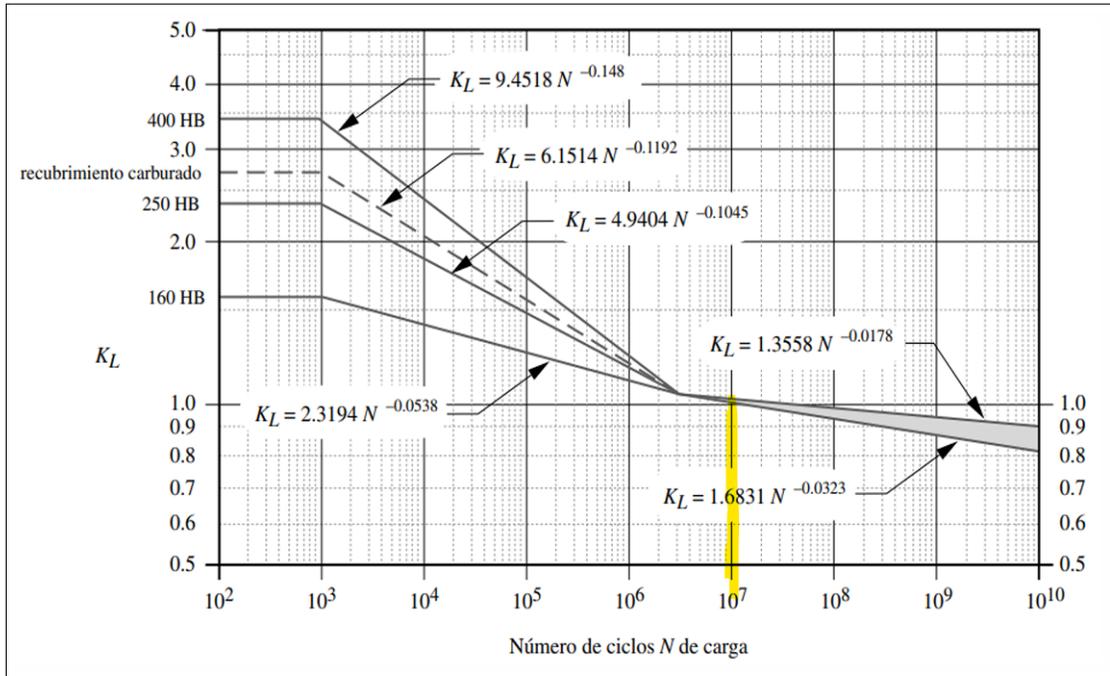
La observación detallada revela que el número de ciclos alcanza un nivel considerablemente alto, con una magnitud del orden de  $10^7$  este dato cobra especial relevancia en el análisis de fatiga por flexión de los materiales involucrados, es por ello que en la figura 18, se procede a seleccionar cuidadosamente el valor de  $k_l$  que será fundamental para los cálculos y análisis subsiguientes.

La determinación precisa de este parámetro es esencial para evaluar la resistencia a la fatiga por flexión de los componentes estructurales, proporcionando una base sólida para el diseño y la ingeniería de sistemas mecánicos sometidos a cargas cíclicas.

La selección adecuada de  $k_l$  contribuye significativamente a garantizar la integridad y durabilidad de los elementos bajo condiciones de carga dinámica.

**Figura 18**

Factor  $k_l$ .



**Nota:** En la Figura se observa la selección del factor  $k_l$  [25]

En la figura 18 se selecciona el factor de vida que recomienda que se encuentre dentro de los ciclos  $1E7$  y para este caso cumple los cálculos para el piñón y rueda dentada.

El factor  $k_l$  se lo encuentra una vez que se traza una línea vertical recto desde el número de ciclos que realiza el piñón y así se obtiene la fórmula el cual se lo observa a continuación:

$$k_{lp} = 1.6831 \cdot (5.628 \cdot 10^7)^{-0.0323} \quad (47)$$

$$k_{lp} = 0.9457$$

Se tiene también los valores:

$K_t$  = Factor de temperatura [1]

$K_r$  = Es el factor de confiabilidad, en la figura 19 se puede observar que se escoge una confiabilidad del 99.9 para lo cual el valor del factor  $k_r$  es igual a 1.25

**Figura 19**

Factor  $k_r$ .

% de confiabilidad	$K_R$
90	0.85
99	1.00
99.9	1.25
99.99	1.50

**Nota:** En la Figura se observa la selección del factor  $k_r$  [25]

La Resistencia a la fatiga por flexión del material seleccionado se encuentra en la Figura 20

**Figura 20**

Resistencia a la fatiga por flexion del material seleccionado.

Material	Clase AGMA	Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por flexión		
					psi x 10 <sup>3</sup>	MPa	
Acero	A1-A5		Endurecido en la masa	≤ 180 HB	25-33	170-230	
			Endurecido en la masa	240 HB	31-41	210-280	
			Endurecido en la masa	300 HB	36-47	250-325	
			Endurecido en la masa	360 HB	40-52	280-360	
			Endurecido en la masa	400 HB	42-56	290-390	
			Endurecido con llama o por inducción	Patrón de tipo A 50-54 HRC	45-55	310-380	
			Endurecido con llama o por inducción	Patrón de tipo B	22	150	
			Carburizado y cementado	55-64HRC	55-75	380-520	
			<b>AISI 4140</b>	<b>Nitrurizado</b>	<b>84.6 15N</b>	<b>34-45</b>	<b>230-310</b>
			AISI 4340	Nitrurizado	83.5 15N	36-47	250-325
Nitralloy 135M	Nitrurizado	90.0 15N	38-48	260-330			
Nitralloy N	Nitrurizado	90.0 15N	40-50	280-345			
Cromo al 2.5%	Nitrurizado	87.5-90.0 15N	55-65	380-450			
Hierro fundido	20	Clase 20	como está fundido	175 HB	5	35	

**Nota:** En la Figura se observa la selección del material [25]

Una vez que se obtiene  $k_{lp}$  se procede a encontrar la resistencia a la fatiga por flexión del piñón:

$$S_{fbp} = \frac{0,9457 \cdot S_{fbmaterial}}{K_t \cdot K_r} \quad (48)$$

Tenemos el esfuerzo a la flexión del piñón:

$$S_{fbp} = 226,968 MPa$$

Finalmente se obtiene el factor de seguridad:

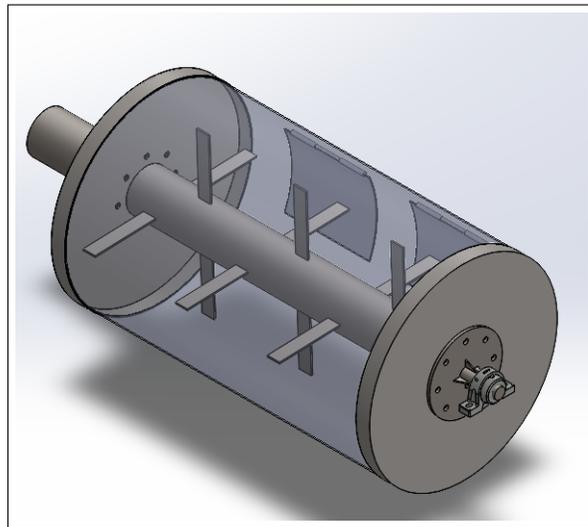
$$n_{bp} = \frac{S_{fbp}}{\sigma_{bp}} \quad (49)$$

El factor de seguridad del piñón es igual a:

$$n_{bp} = 1,51$$

## Figura 21

*Propuesta de diseño de secadora*



**Nota:** En la Figura se observa la propuesta de diseño de la maquina secadora de cacao

En la siguiente tabla se muestran los datos y resultados de los cálculos del engranaje del piñón:

**Tabla 4***Datos del piñón*

Datos y fórmulas para calculo de piñon			
Nomenclatura	Descripción	Valores	Unidades
m	módulo	8	
dp	Diámetro del piñón	96	mm
$\phi$	Angulo de presión	20	grados
$\sigma_{bp}$	Esfuerzo a la flexión del piñón	150.404	Mpa
Wtp	Carga	15902	N
Kap	Factor de aplicación	1	
Fp	Tamaño de la cara	112	mm
Jp	Factor Geométrico	0.34	
Km	Factor de distribución de carga	1.7	
Kv	Factor dinámico	0.59	
Ks	Factor de tamaño	1	
Kb	Factor de espesor	1	
Ki	Factor de un engrane loco	1	
Tp	Torque que se genera en el piñón	763	Nm
Kl	Factor de vida	0.9457	
Kt	Factor de temperatura	1	
Kr	Factor de confiabilidad	1.25	
$n_{ciclosp}$	Número de ciclos del piñón	$5.628 \times 10^7$	
$S_{fbp}$	Resistencia a la fatiga por flexión	226.968	MPa
$F_s$	Factor de seguridad del piñón	1.5	

El mismo procedimiento se realiza para el cálculo de la rueda dentada, se presenta de forma resumida en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Diseño de rueda dentada*

Datos y fórmulas para cálculo de la rueda dentada			
Nomenclatura	Descripción	Valores	Unidades
m	módulo	8	
dg	Diámetro de rueda dentada	720	mm
$\phi$	Angulo de presión	20	grados
$\sigma_{bg}$	Esfuerzo a la flexión de la rueda dentada	120.522	Mpa
Wtg	Carga	15902	N
Kag	Factor de aplicación	1	
Fg	Tamaño de la cara	112	mm
Jg	Factor Geometrico	0.4243	
Km	Factor de distribucion de carga	1.7	
Kv	Factor dinamico	0.59	
Ks	Factor de tamaño	1	
Kb	Factor de espesor	1	
Ki	Factor de un engrane loco	1	
Tg	Torque que se genera en rueda dentada	763	Nm
Kl	Factor de vida	1.009	
Kt	Factor de temperatura	1	
Kr	Factor de confiabilidad	1.25	
$n_{ciclosg}$	Número de ciclos de rueda dentada	$0.7497 \times (10^7)$	
$S_{fbg}$	Resistencia a la fatiga por flexión	242.16	MPa
$F_s$	Factor de seguridad de rueda dentada	2.009	

### 6.2.2.2. Propuesta de Descascaradora de cacao

#### 1.- Volumen de la tolva de alimentación

Se hace el diseño y cálculo de la tolva de alimentación que dará inicio al proceso de descascarado que es la segunda fase que realiza la maquina, por lo tanto, es necesario su diseño.

$$V_{tolva} = \frac{h}{6} \cdot [(2A + a) \cdot B + (2a + A) \cdot b] \quad (50)$$

Donde:

h: Altura de la tolva [0,6m]

A: Ancho de la entrada [0,8m]

B: Largo de la entrada [1m]

a: Ancho de la salida [0,146m]

b: Largo de la salida [0,65m]

$$V_{tolva} = 0,245m^3$$

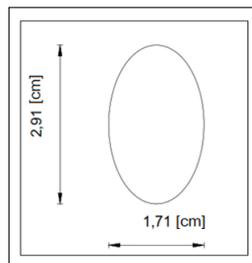
Se tiene entonces el volumen de la tolva.

#### Volumen del grano de cacao.

A continuación, se presenta un gráfico con un aproximado de las dimensiones del grano de cacao.

#### Figura 22

*Dimensiones del grano de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa las dimensiones de un grano de cacao [11]

Es importante recalcar que la geometría del grano es un esferoide, por lo que aplicamos la siguiente ecuación.

$$V_{grano} = \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{\phi_M}{2} \cdot \left(\frac{\phi_m}{2}\right)^2 \quad (51)$$

$$V_{grano} = \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{0.0291}{2} \cdot \left(\frac{0.0171}{2}\right)^2$$

$$V_{grano} = 4,455 \cdot 10^{-6} m^3$$

La cantidad de granos de cacao que entra en la tolva se lo calcula:

$$n_{granosdecacao} = \frac{V_{tolva}}{V_{grano}} \quad (52)$$

$$n_{granosdecacao} = \frac{0.245 m^3}{4,455 \cdot 10^{-6} m^3}$$

$$n_{granosdecacao} = 54994 \text{ unidades}$$

**Peso de grano de cacao.** Para el cálculo es necesario conocer la masa de un grano de cacao que está alrededor de un promedio de 2.1 g ( $m_{prom}=2.1$  g) por lo tanto, se tiene:

$$W_{granosdecacao} = (m_{prom} \cdot n_{granosdecacao}) \cdot g \quad (53)$$

$$W_{granosdecacao} = (0,0021 kg \cdot 54994) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{granosdecacao} = 1132,93 N$$

**Selección del motor** Cálculo del torque.

$$T = W_{granosdecacao} \cdot r_{eje} \quad (54)$$

Donde:

T= Torque [Nm]

$r_{eje}$ = Radio del eje [0,0508m]

$W_{granosdecacao}$ = Peso de granos de cacao [1132,93 N]

Se obtiene:

$$T = 57,55Nm$$

Cálculo de Potencia Mecánica.

$$P_M = T \cdot n \quad (55)$$

Donde:

$P_M$  = Potencia Mecánica.

T = Torque [57,55 Nm]

N = Velocidad angular recomendada para el descascarillado de cacao = 50[rpm] =  $5,236 \frac{rad}{s}$

$$P_M = 301,4Watt$$

La norma NEMA MG-1 (Anexo..) especifica el factor de servicio ( $F_{servicio}$ ) para generadores y motores que se asocia a cada velocidad y potencia, se toma un factor de servicio de 1,15 para un tipo de motor eléctrico con una potencia entre 1 a 125 [HP] y para trabajo liviano.

$$P_{Mcorregida} = P_M \cdot F_{servicio} \quad (56)$$

Donde:

$P_M = 301,4 Watt$   $F_{servicio} = 1,15$

$$P_{Mcorregida} = 452,02Watt = 0,6HP$$

Comercialmente no existen motores de 0.6 HP, por lo que se escoge un motor de 0.75 HP que sí existe en el mercado y es trifásica (220V) y con este valor se procede a encontrar el torque del motor seleccionado.

### **Torque del motor seleccionado**

En la ecuación se halla el par de motor producido en el eje.

$$T = \frac{P_{motor}}{n} \quad (57)$$

Se tiene que:

$$T = \text{Par motor [Nm]}$$

$$P_{motor} = \text{Potencia del motor} = 0.75 \text{ HP} = 413 \left[ \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}} \right]$$

$$n = \text{Velocidad angular recomendada para el descascarado de nibs} = 50[\text{rpm}] = 5.236 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$T = 78.87 \text{ lb} \cdot \text{ft} = 107 \text{ Nm}$$

## 2.- Cálculo del eje descascaradora

### Determinación del Momento Polar de Inercia (J)

Para el cálculo del momento polar de Inercia se lo realiza con la ecuación 58:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (58)$$

Donde:

$$d^4 = \text{Diámetro escogido para el diseño [0,045m]}$$

Se obtiene el momento de inercia sustituyendo el valor del diámetro:

$$J = 4,025779 \cdot 10^{-7}$$

### Cálculo del esfuerzo de Torsión ( $\tau$ )

Se calcula el esfuerzo a la torsión, ya que se produce una carga con un momento que produce una rotación al rededor del eje longitudinal. Para esto se aplica la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{T \cdot c}{J} \quad (59)$$

Donde:

$$T = \text{Carga torsional [934,025 Nm]}$$

$$c = \text{Radio del eje [0,0225 m]}$$

J= Momento Polar de Inercia [ $4,025779 \cdot 10^{-7}$ ]

Con los datos se reemplaza en la ecuación 59:

$$\tau = 52,2MPa$$

### **Determinación del Momento de Inercia (I)**

El momento de inercia es necesario, ya que esta es la medida de la inercia rotacional de un cuerpo, es decir, similar a la inercia, solo que esta se aplica en rotación más que en un movimiento que sea lineal. Por lo que el eje gira y es necesario que sea calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (60)$$

Donde se utiliza el mismo diámetro para J (d= 0.045m):

$$I = 2,01 \cdot 10^{-7}m^4$$

### **Cálculo del Momento Flector debido a la carga Transversal (M)**

El momento flector ocurre cuando se aplica la fuerza; en este caso el cacao entrando al eje, en un punto de referencia, causando un momento efecto y esta se calcula a continuación:

$$M = \frac{F \cdot L}{4} \quad (61)$$

Donde:

F= Carga Transversal [431,2 N]

L= Longitud [1 m]

Obteniendo así el resultado.

$$M = 107,8Nm$$

### **Cálculo del Esfuerzo de flexión ( $\sigma$ )**

Una vez con todos los datos obtenidos se calcula el esfuerzo a flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (62)$$

Donde:

y= Distancia desde el centro neutro hasta la fibra más alejada [0,0225 m]

Las incógnitas de M e I se encontraron en las ecuaciones 61 y 60 respectivamente se reemplaza en la ecuación obteniendo así:

$$\sigma = 12,05MPa$$

### **Factor de seguridad**

El factor de seguridad es utilizada en el diseño mecánico para la determinación de la capacidad que tiene un componente para soportar las fuerzas o cargas. Se obtiene:

$$F_s = \frac{\text{esfuerzomaximoalaflexiondelmaterial}}{\text{Esfuerzoalaflexiondeldiseño}} \quad (63)$$

Para el eje se escoge un material AISI 4140 que se tiene en la figura 20 las propiedades obteniendo así un factor de seguridad:

$$F_s = \frac{300MPa}{12.05MPa}$$

$$F_s = 24$$

Se evidencia que el eje diseñado tiene la capacidad de soportar las cargas especificadas, demostrando una adecuada resistencia tanto a la torsión como a la flexión. Este enfoque no solo asegura la precisión de diseño, sino que también facilita la comprensión del proceso de cálculo, esencial para la validación de los componentes en la ingeniería mecánica.

### **Cálculo de rodamiento**

Para el cálculo del rodamiento se tiene la siguiente fórmula donde se calcula la carga dinámica equivalente (P):

$$P = (X \cdot F_r) + (Y \cdot F_a) \quad (64)$$

Donde:

$F_r$  = Carga radial

$$F_r = 100kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_r = 981N$$

$F_a$  = Carga axial [0 N], ya que no se aplica carga axial.

Factor X = 1

Factor Y = 1

Tanto el factor "x" como el "y" tiene valor 1, ya que solo existe carga radial y la carga axial tiene un valor de 0.

Con los valores obtenidos, se reemplaza en la ecuación 64, se calcula la carga dinámica y se obtiene el resultado:

$$P = 981N$$

Para asegurar la adecuada selección de componentes en el diseño mecánico, se ha considerado una capacidad de carga dinámica de 5000 N. Este cálculo se fundamenta en la multiplicación de la capacidad de carga requerida para la aplicación por un factor de mayoración por seguridad, que en este escenario específico es de 2. Este factor de seguridad proviene de una tabla estándar utilizada en el diseño de maquinaria, la cual proporciona directrices para ajustar los valores de diseño a fin de acomodar posibles incertidumbres, tales como variaciones en las condiciones de operación o cargas inesperadas que podrían surgir durante el uso normal de la máquina. La implementación de este factor de 2 indica una estrategia prudente y conservadora, orientada a garantizar que cualquier componente seleccionado para su uso en el sistema pueda soportar efectivamente tanto las cargas esperadas como las potenciales variaciones o incrementos de carga, mejorando así la fiabilidad y seguridad del diseño en su conjunto.

**Cálculo de la vida útil nominal ( $L_{10}$ )** Para rodamientos de bolas, la vida útil nominal  $L_{10}$  se calcula como:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (65)$$

Donde:

C= 5000 N.

P= 981 N.

$$L_{10} = \left(\frac{5000}{981}\right)^3$$

$$L_{10} = 132,66$$

Este resultado significa que el rodamiento tiene una vida útil nominal de 132.66 millones de revoluciones bajo las condiciones de carga dadas, donde el 90% de los rodamientos de este tipo pueden esperar alcanzar o superar este número de revoluciones antes de que ocurre la fatiga del material. **Conversión de  $L_{10}$  a Horas de Servicio** Para convertir  $L_{10}$  en millones de revoluciones a horas de servicio ( $L_{10h}$ ), utilizando una velocidad de operación de 50 RPM, aplicamos la fórmula:

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot n} \quad (66)$$

Donde:

n= 50 RPM.

$$L_{10h} = \frac{132.66 \cdot 10^6}{60 \cdot 50}$$

$$L_{10h} = 44220 \text{ horas}$$

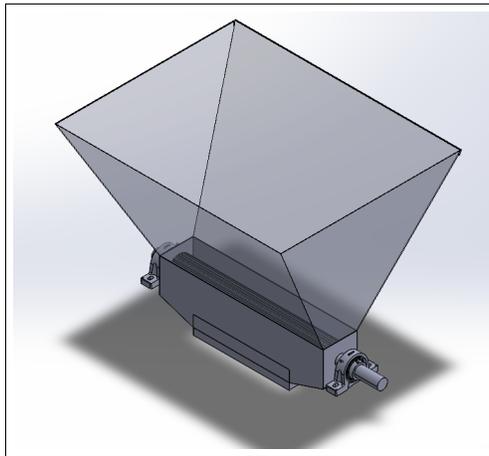
Por lo tanto, la vida útil esperada del rodamiento bajo las condiciones de carga y operación especificada es aproximadamente de 44220 horas. Este cálculo proporciona una estimación de la durabilidad del rodamiento en un entorno operativo específico, permitiendo a los ingenieros tomar decisiones informadas sobre la selección de componentes para aplicaciones de diseño mecánico.

Para la selección de un rodamiento adecuado basado en los cálculos realizados anteriormente, considerando la carga dinámica equivalente calculada y la vida útil estimada ( $L_{10}$ ), se ha identificado el rodamiento 6010 como el más adecuado de acuerdo con el manual SKF. La carga dinámica equivalente de 981 N y la capacidad de carga dinámica de 5000 N son factores cruciales que influyen en esta elección. La selección del rodamiento 6010 refleja un análisis cuidadoso que equilibra las necesidades operativas con las especificaciones del rodamiento, garantizando que el componente elegido cumpla con los requisitos de carga y expectativas

de durabilidad bajo las condiciones operativas previstas. Este proceso de selección subraya la importancia de un enfoque metódico y basado en datos para la selección de componentes críticos en el diseño de maquinaria, asegurando la fiabilidad y eficiencia del sistema conjunto. En el Anexo F se observa el rodamiento seleccionado.

### **Figura 23**

*Propuesta de diseño de descascaradora de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa la propuesta de diseño para la descascaradora.

#### **6.2.2.3. Propuesta de Molino de cacao**

##### **1.- Cálculo de impacto y esfuerzos en un eje**

Para el diseño del molino de cacao se tiene los siguientes datos para proceder con el diseño del molino:

Datos:

Masa del grano de cacao: 0,22 g

Velocidad centrífuga en el punto B:  $46,08 \frac{m}{s}$

Diámetro del eje en el punto A: 2 pulgadas (0,0508m)

Radio en el punto B: 0,4 m

Una vez que se obtiene los datos se procede a calcular:

**Energía cinética del grano de cacao**

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (67)$$

Donde:

m= masa del grano de cacao.

v= es la velocidad centrífuga en el punto B.

Obteniendo así el resultado:

$$E_c = 0,23357J$$

**Fuerza de impacto (suponiendo una deformación muy pequeña de 0.1 mm)**

$$F = \frac{E_c}{d} \quad (68)$$

Donde:

$E_c$ = Energía cinética [0.23357 J]

d= distancia de deformación

$$F = 2335,7N$$

**Momento (torque) en el punto B debido a la fuerza de impacto (suponiendo que la fuerza se aplica tangencialmente en el borde del diámetro del eje)**

$$M_B = F \cdot r \quad (69)$$

Donde:

F= Fuerza de impacto [2335.7 N]

r= radio en el punto B [0.4 m]

$$M_B = 934,28Nm$$

### Cálculo del esfuerzo debido a la flexión en los puntos A y B

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (70)$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo a la flexión.

M = Momento Flector.

Z = Módulo de la sección transversal.

Para un eje circular sólido, el módulo de la sección transversal Z se calcula como:

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (71)$$

Donde:

d = diámetro del eje [0.0508 m]

$$Z = 1.287037 \cdot 10^{-5} m^3$$

Para un eje circular sólido, el momento de Inercia se calcula como:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (72)$$

Donde:

d = diámetro del eje [0.0508 m]

$$I = 3,26907 \cdot 10^{-7} m^4$$

### Esfuerzo de flexión en el punto A

$$\sigma_A = \frac{934.26Nm}{1.287037 \cdot 10^{-5}m^3} \quad (73)$$

$$\sigma_A = 72591636.3 \frac{N}{m^2}$$

### Esfuerzo de flexión en el punto B

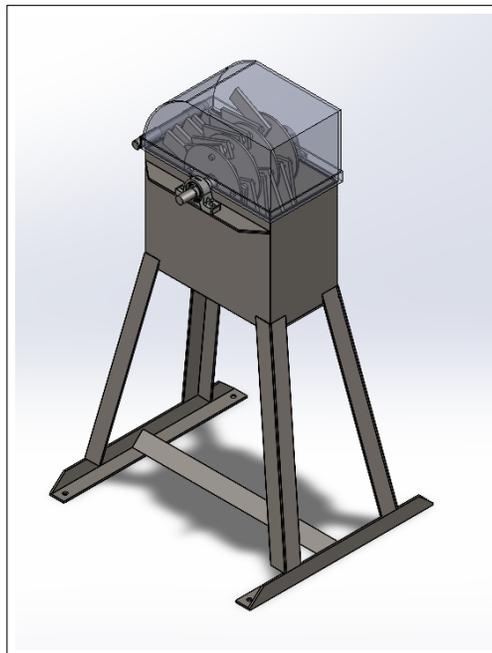
$$\sigma_B = \frac{934.26Nm}{1.287037 \cdot 10^{-5}m^3} \quad (74)$$

$$\sigma_B = 72591636.3 \frac{N}{m^2}$$

Basándose en los cálculos realizados y las propiedades asumidas del acero estructural, los resultados sugieren que el diseño del eje puede ser adecuado para soportar las cargas de impacto estimadas debido a los impactos contra granos de cacao en el punto B.

### Figura 24

*Propuesta de diseño de molino de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa la propuesta de diseño para el molino.

Los esfuerzos de flexión calculados en los puntos A y B están basados en suposiciones conservadoras y proporcionan una primera indicación de que el eje es capaz de resistir las cargas aplicadas sin exceder los límites de fluencia del material. Sin embargo, se recomienda realizar pruebas experimentales o simulaciones más detalladas para validar completamente estos resultados preliminares y asegurar que el diseño cumple con todos los requisitos de seguridad y funcionamiento en condiciones reales de operación.

### **6.3. Verificación de los elementos críticos del diseño mediante software de simulación.**

La verificación de elementos críticos del diseño mediante software de simulación es una parte fundamental del proceso de diseño en ingeniería mecánica. Se confirman que los datos y cálculos correspondientes para el diseño de las máquinas son las adecuadas y se observan como influyen en los elementos críticos de cada máquina diseñada y como actúan a dichas cargas que se mencionaron desde un inicio.

La metodología utilizada para la verificación de los elementos críticos del diseño mediante software de simulación se la realizó siguiendo los pasos esenciales a continuación para una buena obtención de los resultados usando el software de análisis, que para este caso se utiliza el programa ANSYS.

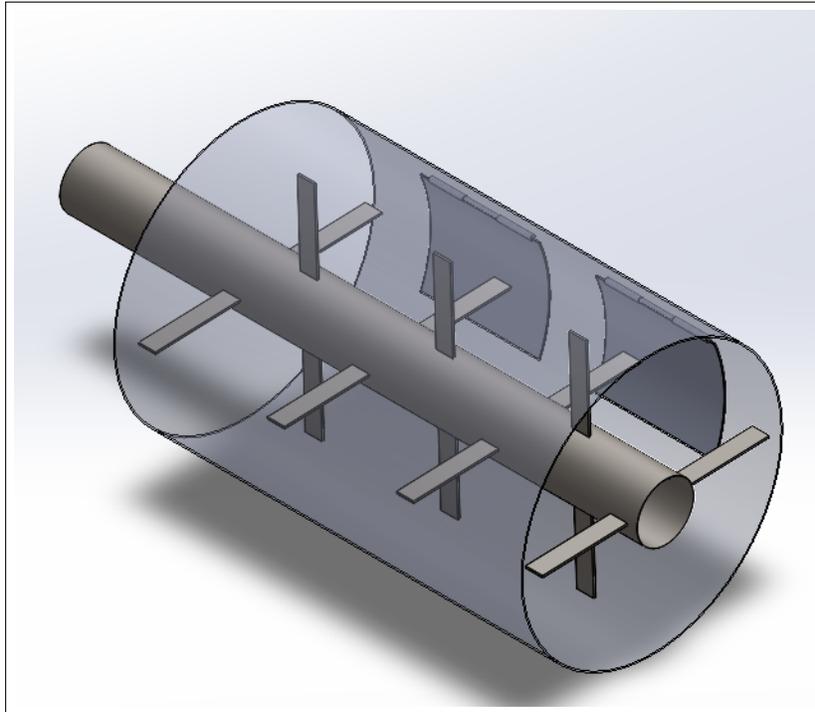
#### **6.3.1. Identificación de los componentes**

Implica reconocer los aspectos del diseño que revisten importancia crucial para el funcionamiento, la seguridad y la eficacia del producto. Estos elementos abarcan partes sujetas a cargas extremas, puntos potenciales de fallo y áreas donde se demanda un desempeño óptimo.

Se reconoce cada elemento crítico del diseño de cada parte que se conforma la máquina procesadora de cacao para la primera máquina que es la secadora de cacao se presenta a continuación:

## Figura 25

*Elemento crítico de la secadora de cacao.*



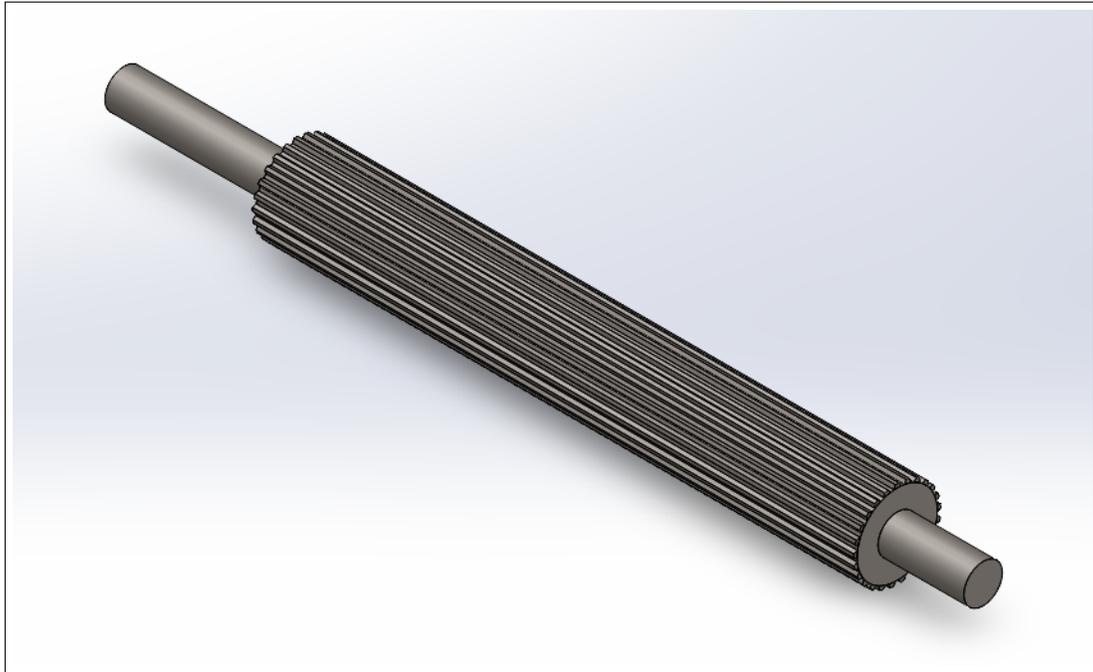
**Nota:** En la Figura se observa el elemento crítico de la secadora de cacao.

En la figura 25 se observa el elemento crítico en el cual el interés de estudio para la simulación de dicho elemento es de comprobar que la distribución de aire caliente dentro del tanque sea uniforme y se distribuya de manera en que todo el material dentro del mismo reciba el calor necesario para el secado de lo antes mencionado.

Para la máquina descascaradora de cacao el elemento crítico es el eje estriado en donde todo el material secado pasa a la siguiente fase que se lo menciona, ya que este soportara toda la carga de entrada de 500 kg que sale de la máquina secadora donde se tiene una tolva de alimentación de 250 kg por lo cual el elemento que sufre más es el que se muestra a continuación en la figura 26 :

## Figura 26

*Elemento crítico de la descascaradora de cacao.*



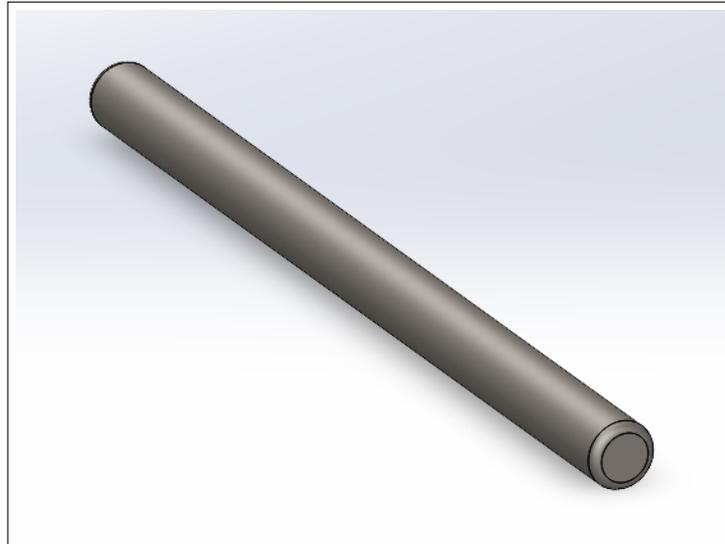
**Nota:** En la Figura se observa el elemento crítico de la descascaradora de cacao.

El objeto de análisis para la verificación es si el diseño del eje si soporta las cargas en este caso para un volumen de material de 250 kg aproximadamente.

Por último, para la máquina molino de cacao el componente crítico que presenta dicha máquina es el eje que sujeta las placas el cual golpea al material (cacao) por lo cual es de interés de estudio hacer el análisis y comprobar si estas resisten de igual forma al impacto por lo que en la figura 27 se observa el elemento crítico.

## Figura 27

*Elemento crítico del molino de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa el elemento crítico del molino de cacao.

### **6.3.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y rendimiento**

Se estipulan los estándares que los elementos críticos del diseño deben cumplir. Esto fue definido en los parámetros iniciales, ya que desde ese punto se realizó el estudio para empezar con el diseño de la máquina.

### **6.3.3. Elección del software de simulación adecuado**

Para la elección del software de simulación adecuado, se selecciona el programa más apropiado para la aplicación en cuestión. Para un caso de estudio completo, se utiliza ANSYS, ya que es un software de simulación de ingeniería utilizado para analizar el comportamiento de sistemas físicos y predecir su respuesta bajo diferentes condiciones.

### **6.3.4. Elaboración del modelo de simulación**

Respecto a la elaboración del modelo de simulación, se emplea el software Solidwork para construir un modelo detallado del sistema. Este proceso implicó la creación de geometrías 3D precisas, definición de materiales, establecimiento de condiciones de contorno y aplicación de

cargas y restricciones adecuadas.

### 6.3.5. Ejecución del análisis

Se utilizan las herramientas proporcionadas por el software de simulación, pueden llevarse a cabo análisis estáticos, dinámicos, de fatiga, de transferencia de calor, de flujo de fluidos, según los requisitos del diseño; se utiliza el programa ANSYS para simular los elementos críticos de cada máquina que se había diseñado. En la Figura 28 se observa los parámetros que se debe configurar para el análisis:

El ANSYS tiene varios módulos para diferentes simulaciones, para el caso de estudio presentado se utiliza el módulo estático para la simulación de los elementos críticos que presenta cada diseño propuesto de las máquinas secador, descascaradora y molino de cacao, el cual compone la máquina procesadora de cacao.

**Figura 28**

*Parámetros de simulación.*



**Nota:** En la Figura se observa los parametros iniciales para la simulacion de los elementos criticos

En el proceso descrito, se realiza una secuencia de verificaciones y configuraciones de variables para garantizar la correcta selección y análisis de cada elemento crítico de las máquinas. Cada variable es examinada y confirmada con un visto bueno al lado de su respectivo ítem.

En el ítem de Engineering Data, se ingresan las propiedades de los materiales que serán

analizados para cada elemento crítico de las máquinas. Una vez verificado este ítem, se procede al siguiente paso.

En el ítem de Geometry o geometría, se pueden cargar los elementos dibujados en un programa de CAD o se puede generar la geometría deseada. En este caso, el dibujo propuesto para el estudio se importó desde SolidWorks, donde se elaboró la propuesta de diseño de cada máquina. Una vez verificado este ítem, se avanza a la siguiente configuración.

El siguiente paso es el setup, donde se definen las fuerzas que deberá soportar el elemento y se confirman los resultados de la simulación con los cálculos obtenidos, para verificar si los elementos críticos pueden soportar las cargas. Una vez que todos los ítems tienen la marca de verificación, se procede a analizar los resultados proporcionados por el programa.

Una vez configurados y explicados todos los ítems mencionados, se llevan a cabo las simulaciones de cada elemento crítico de las máquinas para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones.

### **6.3.6. Interpretación de los resultados**

implica examinar los resultados obtenidos del análisis para determinar si los elementos críticos del diseño cumplen con los criterios establecidos. Este proceso implica la revisión de tensiones, deformaciones, temperaturas, flujos de fluidos, frecuencias naturales y otros parámetros relevantes.

Si los resultados del análisis no satisfacen los criterios de diseño, se puede proceder a revisar y ajustar el diseño para mejorarlo. Esto puede implicar modificar la geometría, seleccionar materiales alternativos u optimizar las condiciones de carga y restricciones.

## **6.4. Análisis de la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao.**

El análisis de costos es una de las etapas esenciales al momento de determinar la inversión necesaria para el proyecto. En el análisis se abarca los costos directos de materiales, construcción, al igual que los gastos como por ejemplo en transporte u otro tipo de inconveniente que se pueda presentar y se lo debe tener en cuenta al momento de realizar las cuentas necesarias

para la inversión. Una vez que se tiene en cuenta estos factores, se obtiene una perspectiva integral de los recursos financieros necesarios para la implementación exitosa de la máquina procesadora de cacao, para estos detalles se tiene a continuación las hojas de costos de cada máquina.

#### **6.4.1. Costo de la máquina secadora de Cacao**

La hoja de cálculo de costos adjunta proporciona un desglose detallado del precio total de la máquina secadora de cacao, así como los costos individuales asociados con cada una de sus partes constituyentes.

Se han considerado diversos factores durante este análisis, incluyendo los gastos de transporte, los cuales desempeñan un papel fundamental en la determinación precisa de los costos finales de la maquinaria.

Es crucial destacar que estos costos desempeñan un papel crucial en la planificación y ejecución del proceso de construcción de la máquina. Al tener en cuenta los materiales necesarios para cada componente de la máquina, así como los gastos de transporte asociados, se pueden realizar estimaciones precisas del monto total requerido para llevar a cabo la construcción del equipo.

La información detallada proporcionada en la hoja de cálculo facilita la elaboración de presupuestos y la toma de decisiones informadas en relación con la inversión necesaria para el desarrollo de la máquina secadora de cacao.

Además, este análisis contribuye significativamente a garantizar una gestión eficiente de los recursos y una planificación estratégica en el proceso de construcción, lo que es esencial para el éxito del proyecto en su conjunto.

PROYECTO: DISEÑO DE UNA MAQUINA PROCESADORA DE CACAO

NOMBRE DEL OFERENTE: Jorge Esteban Mejia Andrade

PROYECTO: DISEÑO DE UNA MAQUINA PROCESADORA DE CACAO

ITEM: 1

DESCRIPCION: Secadora de cacao

UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			2.32
Corte	1	1.50	2	3.00
Rolado	1	10.00	1	10.00
Perforado de tapas	16	0.50	2	16.00
Mecanizado de piñon	1	5.00	3	15.00
Mecanizado de rueda dentada	1	5.00	8	40.00
Perforado de piñon	1	3.00	1	3.00
Soldadura	20	3.00	10	600.00
			<b>PARCIAL M</b>	<b>689.32</b>

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Plancha Acero inox perforaciones diametro 4.76 (1230 x 2440)	mm	1.00	130	130.00
Plancha A36 (770x770x6)	mm	2.00	150	300.00
Platina (30x4)	mm	2.00	15	30.00
Ferro de Lam. Cal 14 con perforaciones diametro 8 (630 x 1500)	mm	1.00	60	60.00
Eje Acero AISI 4140 (44.5 x 150)	mm	1.00	30	30.00
Chumacera		1.00	25	25.00
Chumacera transmision		1.00	80	80.00
Blower (1)	HP	1.00	760	760.00
Motor Transmision (3)	HP	1.00	440	440.00
Estructura		1.00	1000	1000.00
Quemador tipo cañon		1.00	75	75.00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>2930.00</b>

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
					0.00
Transporte de material	u	1	20.00	1	20.00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>20.00</b>

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecanico	3	3.22	8	77.28
				0.00
				0.00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>77.28</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>3716.60</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			20.00%	743.32
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>4459.92</b>

### 6.4.2. Costo de la máquina descascaradora de Cacao

Se utiliza la misma hoja de cálculo de costos, pero esta vez para la máquina descascaradora de cacao y se obtiene los precios a base de las partes que lo conforman y de igual forma se

toma en cuenta el transporte, así finalmente se obtiene el costo de la máquina descascaradora de cacao.

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**NOMBRE DEL OFERENTE:** Jorge Esteban Mejia Andrade  
**PROYECTO:** DISEÑO DE UNA MAQUINA PROCESADORA DE CACAO  
**ITEM:** 2  
**DESCRIPCION:** Descascaradora de cacao  
**UNIDAD:** u

#### EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			1.55
Soldadura	5	3.00	4	60.00
Ranurado	25	3.00	8	600.00
Cilindrado	2	3.00	3	18.00
Corte	5	1.50	2	15.00
			<b>PARCIAL M</b>	<b>694.55</b>

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Plancha Inxo 304 (2440 x 1230 x 2)	mm	2.00	130	260.00
Chumaceras de piso	mm	2.00	25	50.00
Eje agujereado (101.6 x 770)	mm	1.00	75	75.00
Motor transmision (0.75)	HP	1.00	200	200.00
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>585.00</b>

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte de material (Interno)	u	1	10.00	1	10.00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>10.00</b>

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecanico	2	3.22	8	51.52
				0.00
				0.00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>51.52</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>1341.07</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			20.00%	268.21
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>1609.28</b>

### 6.4.3. Costo de la máquina molino de Cacao

Por último, se tiene los costos del molino de cacao que, con este proceso, termina el ciclo del cacao para empezar nuevamente otro ciclo.

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**NOMBRE DEL OFERENTE:** JORGE ESTEBAN MEJIA ANDTADE  
**PROYECTO:** Diseño de una maquina procesadora de cacao  
**ITEM:** 3  
**DESCRIPCION:** Molino de cacao  
**UNIDAD:** u

#### EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			3.24
Rolado	1	10.00	1	10.00
Soldadura	40	3.00	1	120.00
Perforado	15	3.00	1	45.00
Doblez	10	3.00	1	30.00
Corte	70	3.00	2	420.00
			<b>PARCIAL M</b>	<b>628.24</b>

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Plancha ASTM A-36(1220 x 2440 x 6)	mm	2.00	150	300.00
Angulo (50 x 50 x 6)	mm	2.00	35	70.00
Criba	u	1.00	45	45.00
Varilla lisa (15 x 240)	mm	15.00	15	225.00
Eje SAE 4140 (44.5 x 800)	mm	1.00	100	100.00
Platinas (135 x 6)	mm	82.00	2	164.00
Discos (200 x 6)	mm	4.00	4	16.00
Chumaceras		2.00	50	100.00
Lamina de acero inoxidable (1220 x 2440 x 6)	mm	2.00	80	160.00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>1180.00</b>

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte para compra de materiales	u	1	5.00	1	5.00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>5.00</b>

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecanico	3	3.00	12	108.00
				0.00
				0.00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>108.00</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>1921.24</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			20.00%	<b>384.25</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>2305.49</b>

En el análisis de los estados financieros precedentes, se identifican los desgloses de costos asociados a los componentes y partes integrantes de la maquinaria destinada al procesamiento de cacao. Concretamente, se destacan valores específicos para la secadora, la descascaradora y el molino de cacao, cifrados en \$4459.92, \$1609.28 y \$2305.49 respectivamente. Estos importes representan los gastos atribuidos a la adquisición, mantenimiento y operación de cada una de las mencionadas unidades de la maquinaria.

Finalmente, se presenta el costo total de la máquina procesadora de cacao.

<b>ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES</b>					
<b>PROYECTO: DISEÑO DE UNA MAQUINA PROCESADORA DE CACAO</b>					
Fect 11/2/2024					
Nº	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Secadora de cacao	u	1	4459.92	4459.92
2	Descascaradora de cacao	u	1	1609.28	1609.28
3	Molino de cacao	u	1	2305.49	2305.49
<b>TOTAL</b>					<b>8374.68</b>

**Responsable:** .....  
JORGE ESTEBAN MEJIA ANDRADE

#### 6.4.4. Valor Actual Neto (VAN)

Es importante conocer el Valor Actual Neto de un proyecto (VAN), ya que es un criterio de inversión el cual consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuanto se va a ganar o perder con la misma.

Es decir, con este valor sabremos si nuestro proyecto será rentable o no durante un tiempo estimado. Para el presente proyecto se lo realiza durante un periodo de 5 años, ya que es un tiempo estimado donde las tecnologías cambian al igual que proceso.

La formula para obtener el Valor Actual Neto (VAN) se presenta a continuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (75)$$

Donde:

$I_0$ = Inversión Inicial del proyecto [\\$8374,68]

$F_t$ = Flujos de dinero en cada periodo.

$n$ = es el número de periodos de tiempo. [5 años]

$k$ = el interés exigido a la inversión.[10%]

En la tabla 6 se muestran los resultados del VAN.

#### 6.4.5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR o tasa interna de retorno es un indicador financiero para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Representa la tasa de rendimiento que hace que el valor actual neto (VAN) de los flujos de efectivo de un proyecto sea cero. En otras palabras, la TIR es la tasa de descuento que equipara el costo inicial de una inversión con el valor presente de los beneficios netos logrados por el proyecto a lo largo del tiempo. Gracias a esta herramienta, los inversores y gestores de proyectos evalúan la viabilidad de un proyecto y deciden si continúan con la inversión o buscan alternativas más rentables, convirtiéndola en una herramienta imprescindible para las decisiones de inversión.

La formula para obtener la Tasa Interna de Retorno (TIR) se presenta a continuación:

$$TIR = \left( \frac{\text{Flujodeefectivoneto}}{\text{InversionInicial}} \right)^{\frac{1}{\text{numerodeperiodos}}} - 1 \quad (76)$$

Los resultados obtenidos del cálculo del VAN y la TIR para el presente proyecto son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre su continuación, ajustes o posibles alternativas, estos datos ofrecen una perspectiva clara sobre la capacidad del proyecto para generar retornos económicos y para cumplir con los objetivos financieros establecidos.

En este sentido, los resultados del VAN y la TIR proporcionarán una guía sólida para la toma de decisiones estratégicas y la asignación eficiente de recursos, asegurando así la maximización del valor para los inversionistas y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Finalmente, estos datos se los observa en la Tabla 6 del presente proyecto.

**Tabla 6***Tabla de resultados VAN y TIR*

<b>Descripción</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>INVERSIÓN</b>						
Secadora de cacao	-14,866.40	-14,866.40	-14,866.40	-14,866.40	-14,866.40	-14,866.40
Descascaradora de cacao	-5,364.28	-5,364.28	-5,364.28	-5,364.28	-5,364.28	-5,364.28
Molino de cacao	-7,685.60	-7,685.60	-7,685.60	-7,685.60	-7,685.60	-7,685.60
<b>INGRESOS</b>						
Secadora de cacao		17,839.68	17,839.68	17,839.68	17,839.68	17,839.68
Descascaradora de cacao		6,437.12	6,437.12	6,437.12	6,437.12	6,437.12
Molino de cacao		9,221.96	9,221.96	9,221.96	9,221.96	9,221.96
<b>GASTOS</b>						
Almacenamiento		-800	-800	-800	-800	-800
Administrativos		-400	-400	-400	-400	-400
Ventas		-400	-400	-400	-400	-400
<b>VALOR RESIDUAL</b>						27,916.28
<b>TOTAL</b>	-27,916.28	3,982.48	3,982.48	3,982.48	3,982.48	31,898.76

<b>VAN</b>	<b>\$4,514.27</b>
<b>TIR</b>	<b>14.27%</b>

## 7. Resultados

### 7.1. Parámetros establecidos para el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao

#### 7.1.1. Parámetros de diseño de la secadora de cacao

En la tabla 7 se presenta los parámetros y condiciones cruciales durante la etapa de diseño, fundamentales para la planificación y ejecución de cualquier proyecto.

**Tabla 7**

*Parámetros de secadora*

<b>Condiciones para el diseño del secador</b>			
<b>Variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	
Capacidad	qq	5	
Capacidad Quemador	kg/gas	6	
Capacidad del motorreductor	hp	3	
Temperatura maxima	T (grados Centigrados)	70	
Tiempo de secado	h	8 - 12	
Velocidad de secado	rpm	3-6	
<b>Materiales de los componentes del secador</b>			
<b>Partes</b>	<b>Material</b>	<b>Limite de Fluencia</b>	<b>R. Traccion</b>
Rueda dentada y piñon (Transmision)	AISI 4140	427 MPa	614 MPa
Tanque	Acero inoxidable 304	234.7 MPa	573.6 MPa
Tapas laterales	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Tubo agujereado	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Eje	AISI 4140	250 MPa	440-550 MPa

Estos elementos delimitan las restricciones y especificaciones que guían el proceso de diseño y la implementación del sistema o producto. Su inclusión en la tabla proporciona una visión clara y estructurada de los factores influyentes, facilitando su comprensión y análisis por parte de los responsables del proyecto y otros interesados. Al considerar estos aspectos, se garantiza que el diseño satisfaga los requisitos y expectativas, asegurando la coherencia, funcionalidad y eficacia del producto final.

### 7.1.2. Parámetros de diseño de la descascaradora de cacao

El diseño de una descascaradora implica la consideración minuciosa de diversos parámetros y condiciones que influyen directamente en su funcionamiento y rendimiento. Estos aspectos son esenciales para garantizar que la máquina cumpla con los requisitos específicos del proceso de descascarado de cacao y se integre eficazmente en el sistema de procesamiento.

A continuación se presenta en la tabla 8 los parámetros y condiciones que se tomaron en cuenta al momento de realizar el diseño de la descascaradora.

**Tabla 8**

*Parámetros de descascaradora*

<b>Condiciones para el diseño de la descascaradora</b>			
<b>Variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	
Capacidad	qq	5	
Velocidad de descascarado	rpm	50	
Motor	hp	0.75	
<b>Materiales de los componentes de la descascaradora</b>			
<b>Partes</b>	<b>Material</b>	<b>Limite de Fluencia</b>	<b>R. Traccion</b>
Eje estriado	AISI 4140	427 MPa	614 MPa
Carcasa	Acero inoxidable 304	234,7 MPa	573.6 MPa
Tolva	Acero inoxidable 305	234,7 MPa	573.6 MPa

Entre los aspectos evaluados se encuentran la capacidad de procesamiento, la velocidad de operación y la resistencia de los materiales. La tabla proporcionada ofrece un desglose detallado de estos parámetros, facilitando a los ingenieros y diseñadores una referencia clara durante el desarrollo. En resumen, este análisis exhaustivo es crucial para garantizar el éxito del diseño de la descascaradora, asegurando su cumplimiento con los estándares de calidad, rendimiento y seguridad en la industria del procesamiento de cacao.

### 7.1.3. Parámetros de diseño del molino de cacao.

En el proceso de diseño del molino, es fundamental considerar una serie de parámetros y condiciones que afectan directamente su funcionalidad, eficiencia y rendimiento que en la tabla 9 proporciona un desglose detallado de estos elementos, los cuales son cruciales para

asegurar que el molino cumpla con los requisitos específicos del proceso de molienda y se integre eficazmente en el sistema de procesamiento.

**Tabla 9**

*Parámetros del molino*

<b>Condiciones para el diseño del molino</b>			
<b>Variable</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	
Capacidad	qq	5	
Capacidad del motor	hp	10	
<b>Materiales de los componentes del molino</b>			
<b>Partes</b>	<b>Material</b>	<b>Límite de Fluencia</b>	<b>R. Traccion</b>
Carcasa	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Tolva de alimentación	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Aspas	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Criba	Acero inoxidable 304	234.7 MPa	573.6 MPa
Eje de aspas	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa
Eje principal	ASTM A-36	250 MPa	440-550 MPa

Entre los parámetros contemplados se encuentran la capacidad de molienda por unidad de tiempo, la potencia requerida para el funcionamiento del molino, el tipo de material utilizado en su construcción y su resistencia a la abrasión y al desgaste. Además, se consideran aspectos como la granulometría del producto final, la eficiencia energética y las medidas de seguridad necesarias para su correcto funcionamiento. Estos factores son críticos para garantizar que el molino opere de manera eficiente y segura, contribuyendo así a la optimización del proceso de molienda y a la calidad del producto final obtenido. En resumen, la evaluación minuciosa de estos parámetros y condiciones es esencial para el diseño exitoso del molino, asegurando su adecuación a los estándares de calidad y rendimiento requeridos en la industria de procesamiento correspondiente.

Los parámetros presentados anteriormente con sus respectivas y partes y los materiales de los cuales están conformados fueron los datos de partida inicial para empezar con el diseño, ya que fueron basados en tecnologías que existen actualmente dentro del mercado.

## 7.2. Diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao

### 7.2.1. Diseño mecánico de la secadora de cacao

En el diseño de los componentes de la máquina secadora de cacao, se combinaron enfoques que involucraron tanto tecnologías existentes en el mercado como cálculos analíticos, es decir, mientras algunas partes se basaron en tecnologías previamente disponibles, otras requirieron cálculos específicos para su diseño. Para este propósito, se consultaron fórmulas y principios recogidos en la obra de Robert L. Norton, un recurso reconocido en ingeniería mecánica y los resultados que se obtuvieron, tanto de los cálculos analíticos como del estudio de tecnologías existentes, se presentan de manera detallada en la tabla 10. Este enfoque integrado permitió una evaluación completa y precisa de los componentes de la secadora de cacao, asegurando su adecuación a los estándares de calidad y rendimiento requeridos en la industria.

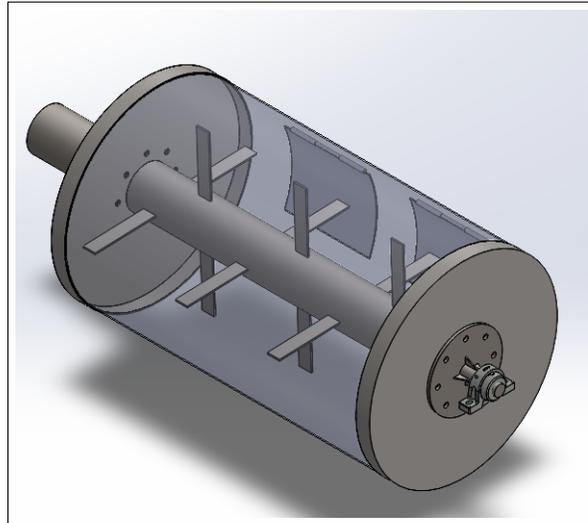
**Tabla 10**

*Resultados de la secadora de cacao*

RESUMEN - RESULTADO DE LOS CALCULOS		
Diseño Mecánico		
Medidas del sistema propuesto	770 x 1170 x 2	mm
Motor de transmisión	3	hp
Diámetro del piñón de transmisión	110	mm
Número de dientes del piñón de transmisión	12	N2
Diámetro de la rueda dentada de transmisión	730	mm
Número de dientes del piñón de transmisión	90	N3
Potencia de ventilador	1	hp
Medidas de las aletas	250 x 50 x 4	mm
Tubo agujereado	168,28 x 1500 x 2	mm
Material del cilindro	Inox 304	
Material de piñón y rueda dentada	AISI 4140	
Material de tubo y aletas	ASTM A-36	

## Figura 29

*Diseño mecánico de la secadora de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa el diseño mecánico propuesto para la secadora de cacao

Este enfoque integrado permitió una evaluación completa y precisa de los componentes de la secadora de cacao, asegurando su adecuación a los estándares de calidad y rendimiento requeridos en la industria

### **7.2.2. Diseño mecánico de la descascaradora de cacao**

El proceso de descascarado de cacao demandó un riguroso análisis de las tecnologías disponibles en el mercado actual, a partir de esta revisión, se establecieron las condiciones iniciales que proporcionaron los fundamentos para el diseño del proceso de descascarado dentro de este proceso involucró la realización de cálculos específicos para evaluar diversas variables y parámetros críticos.

La tabla 11 encapsula todos los datos recopilados durante la investigación, junto con los cálculos correspondientes, ofreciendo una visión detallada y sistemática de los aspectos considerados en el diseño del sistema de descascarado de cacao.

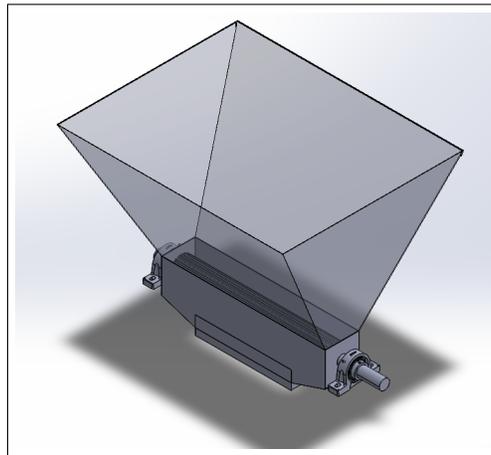
**Tabla 11**

*Resultados de la descascaradora de cacao*

RESUMEN - RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DESCASCARADORA		
Diseño Mecanico		
Medidas del sistema propuesto	1000 x 150	mm
Motor de transmisión	0,75	hp
Volumen de tolva de alimentación	0,245	$m^3$
Diámetro de eje estriado	101,6	mm
Rodillos	6010	
Material de tolva	AISI 304	
Material cámara de eje	AISI 304	

**Figura 30**

*Diseño mecánico de descascaradora de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa el diseño mecánico propuesto para la descascaradora de cacao

Esta compilación de información abarca desde la identificación de los requisitos específicos del proceso hasta la evaluación de las tecnologías disponibles en el mercado, al disponer de una base de datos completa y un análisis detallado, los responsables del diseño pueden tomar decisiones fundamentadas sobre los métodos y equipos más apropiados para el proceso de descascarado esta sólida base proporciona una comprensión integral de los factores clave que influyen en la eficiencia y la calidad del proceso, lo que permite diseñar soluciones adaptadas a las necesidades específicas de la producción de cacao además, facilita la identificación de áreas

de mejora y la implementación de estrategias para optimizar la productividad y maximizar los rendimientos.

### 7.2.3. Diseño mecánico del molino de cacao

En consonancia con el enfoque de diseño empleado en las dos máquinas previamente presentadas, se aplicó un procedimiento similar para el diseño del molino de cacao. Este proceso implicó un análisis detallado de los requisitos y especificaciones necesarios para el funcionamiento eficiente del molino. A través de una combinación de métodos analíticos y revisión de tecnologías existentes en el mercado, se obtuvieron datos relevantes que sirvieron como base para el diseño del molino de cacao.

**Tabla 12**

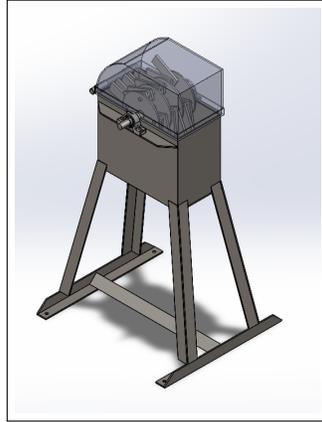
*Resultados del molino de cacao*

RESUMEN - RESULTADO DE LOS CÁLCULOS MOLINO		
Diseño Mecánico		
Medidas del sistema propuesto	700 x 650 x 1250	mm
Motor de transmisión	10	hp
Volumen de tolva de alimentación	0,245	m <sup>3</sup>
Diámetro de eje principal	50,8	mm
Forado interior de carcasa	AISI 304	
Material de tolva	AISI 304	
Material cámara de eje	ASTM A-36	
Sujetador de eje aspas	AISI 304	
Cuchillas	135 x 46,5 x 10	mm
Diámetro de eje soporte cuchillas	15	mm

La tabla 12 proporciona una visión general de los parámetros y cálculos esenciales realizados durante este proceso de diseño. Esta metodología rigurosa garantiza que el molino de cacao resultante cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos en la industria de procesamiento de cacao, ofreciendo así una herramienta eficiente y efectiva para la molienda de cacao en el proceso productivo

### Figura 31

*Diseño mecánico de molino de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa el diseño mecánico propuesto para el molino de cacao

El estudio de tecnología en el mercado proporcionó a los ingenieros ciertos parámetros iniciales que resultaron fundamentales en el proceso de diseño de las máquinas destinadas al procesamiento de cacao, estos parámetros sirvieron como base sobre la cual se elaboró el diseño preliminar, abarcando aspectos críticos como la capacidad de procesamiento, la eficiencia energética y los requisitos de seguridad, posteriormente, para complementar este diseño inicial, se realizaron cálculos específicos en ciertas partes del diseño, utilizando herramientas analíticas y modelos matemáticos pertinentes. Estos cálculos permitieron refinar y optimizar aspectos clave del diseño, como la resistencia estructural, la cinemática y la eficiencia operativa.

Finalmente, mediante la integración de todas las partes diseñadas y calculadas, se logró crear un único cuerpo unificado que conforma la máquina procesadora de cacao. Este proceso de diseño y cálculo garantizó que la máquina resultante cumpliera con los estándares de calidad, rendimiento y seguridad exigidos en la industria del procesamiento de cacao.

En la Figura 32 se presenta el resultado final de la Máquina Procesadora de Cacao.

## Figura 32

*Diseño final de la máquina procesadora de cacao.*



**Nota:** En la Figura se observa el diseño final de la maquina procesadora de cacao

### **7.3. Resultados de la simulación del diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao.**

#### **7.3.1. Resultados de la simulación de la distribución dentro del tanque de la secadora**

Al simular la distribución de aire caliente en un tanque de secado, los resultados ofrecen un entendimiento detallado de cómo el aire caliente se desplaza y distribuye en el tanque, lo cual es esencial para el proceso de secado.

Algunos resultados importantes de la simulación abarcan:

-Patrones de flujo de aire: La simulación revela los patrones de flujo de aire, a medida que atraviesa el espacio del tanque.

-Distribución de temperatura: Los resultados muestran cómo se distribuye la temperatura del aire caliente en el tanque, asegurando que todas las áreas del producto reciban calor adecuado.

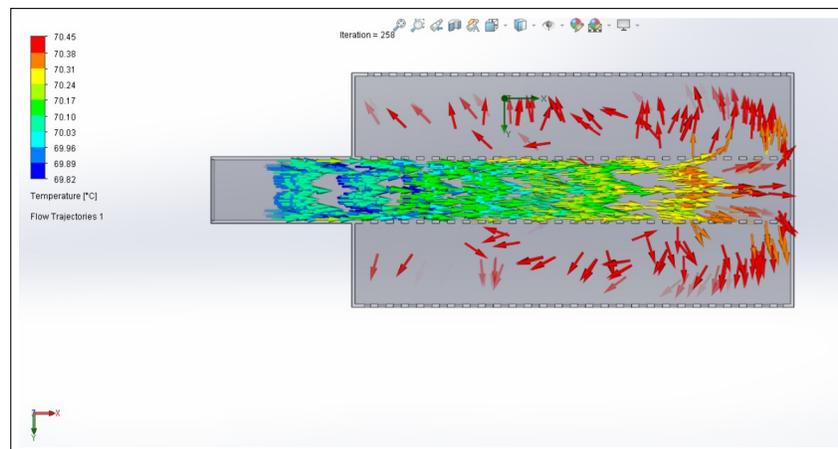
-Identificación de zonas de recirculación: La simulación detecta áreas donde el aire caliente puede estancarse, lo que puede causar puntos fríos o secado insuficiente.

-Eficiencia del sistema: Los resultados ofrecen información sobre la eficacia del sistema de secado, señalando posibles mejoras en el diseño del sistema de ventilación o la distribución de conductos de aire caliente.

Con estos datos, se pueden ajustar el diseño del tanque de secado, el sistema de ventilación y otros componentes para optimizar el proceso de secado, asegurando una distribución uniforme de aire caliente y un secado eficiente y consistente del producto.

### Figura 33

*Simulación de la distribución de aire caliente dentro del tanque de secado.*

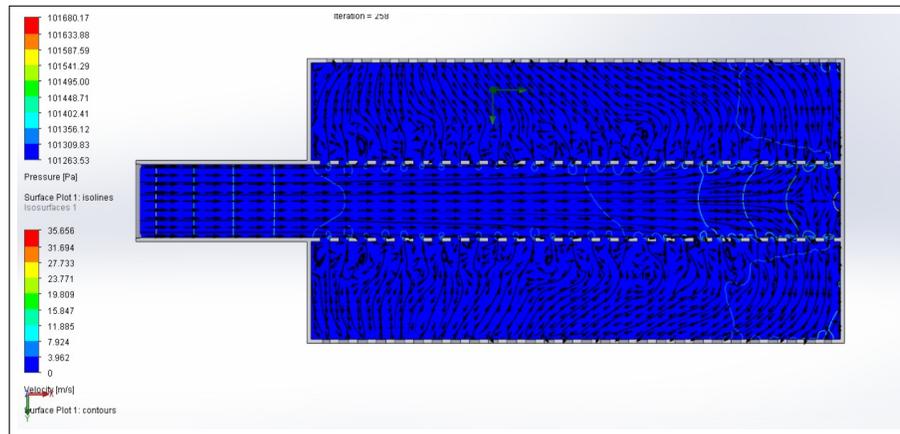


**Nota:** En la Figura se observa la simulación de la distribución del aire caliente

En la figura 33 se procede a realizar una observación detallada del fenómeno que representa el comportamiento térmico del aire caldeado en el interior del tanque, junto con el análisis minucioso de su distribución homogénea dentro de dicho recipiente.

**Figura 34**

*Simulación de la distribución de las presiones y velocidad del aire dentro del tanque.*



**Nota:** En la Figura se observa la simulación de la distribución del presión y velocidad en el tanque

Es de suma relevancia analizar tanto las presiones como las velocidades representadas en la figura 34, dado que su comprensión y evaluación son fundamentales para garantizar una distribución eficaz del aire caliente dentro del tanque. Este análisis permite verificar que dichos parámetros sean adecuados para facilitar una distribución homogénea del aire caliente en el interior del recipiente. Al obtener los valores necesarios mediante este análisis, se puede concluir con certeza que el diseño del tanque es apto para lograr una distribución uniforme del aire caliente en su interior.

### **7.3.2. Resultados de la simulación del eje descascaradora de cacao**

Después de completar las simulaciones necesarias, se ha recopilado y analizado la información resultante, presentándola en la Tabla 13 para facilitar su comprensión y evaluación. Esta tabla muestra los valores obtenidos de las simulaciones, con el fin de determinar si el eje seleccionado puede soportar las cargas proyectadas sobre el elemento. Incluye mediciones como resistencia y deformación, relevantes para la capacidad de carga del eje.

**Tabla 13**

*Valores de simulación del eje descascaradora de cacao.*

Valores de la simulacion	
Número de nodos	120693
Calidad de mallado	
Minimo	5,523 e-002
Máximo	0,99998
Promedio de mallado	0,74081
Elementos	78425
Deformación máxima	0,0086297 mm
Esfuerzo máximo (Von-Mises)	5,308 Mpa

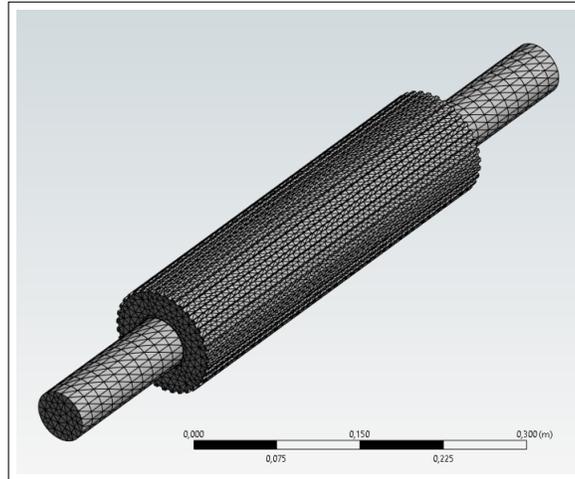
La meta es verificar si el eje puede soportar las cargas sin superar los límites de seguridad y rendimiento. Los resultados se interpretarán según criterios técnicos y normativos aplicables para garantizar la integridad estructural y el funcionamiento adecuado del elemento. La evaluación de la aptitud del eje para las cargas previstas es crucial en la toma de decisiones de diseño e ingeniería, contribuyendo a la fiabilidad del sistema.

Los resultados obtenidos a partir de la tabla de análisis validan que, conforme a la configuración de mallado y los parámetros de simulación establecidos, el eje es capaz de soportar las cargas anticipadas. El estudio abarcó la evaluación de tensiones, deformaciones y otros aspectos relevantes, empleando herramientas y métodos precisos de análisis estructural.

Los hallazgos indican que las tensiones y deformaciones experimentadas por el eje se mantienen dentro de los límites aceptables. Este minucioso análisis contribuye a garantizar la integridad y óptimo desempeño del sistema en cuestión. En suma, los datos recopilados respaldan la afirmación de que el eje posee la capacidad requerida para resistir las cargas proyectadas, lo que asegura su eficacia y fiabilidad en el contexto de su aplicación específica.

### Figura 35

*Mallado descascaradora.*



**Nota:** En la Figura se observa el mallado de la descascaradora

Mediante la implementación de un mallado efectivo, se procede a realizar la simulación y ejecutar el programa pertinente. Los resultados de esta simulación son presentados de manera visual en la Figura 36.

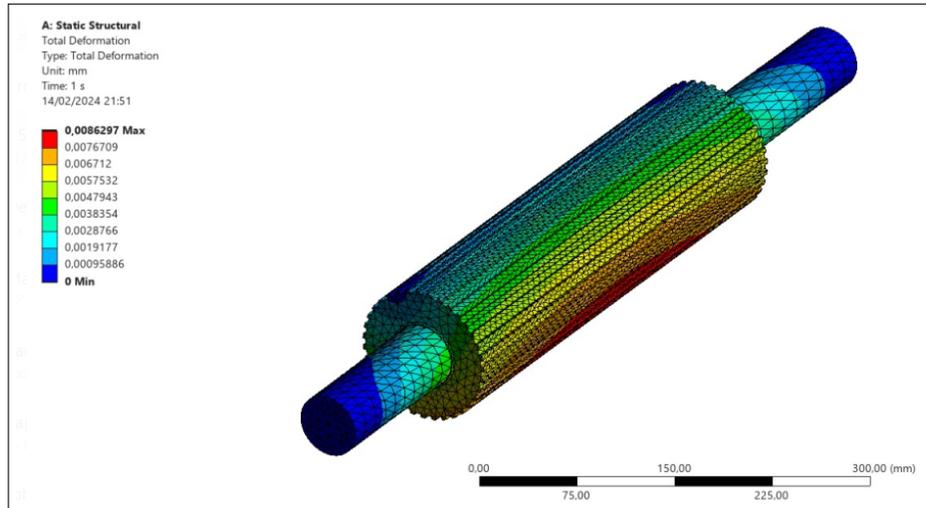
La sinergia entre un proceso de mallado eficiente y la ejecución de un programa de simulación representa un método robusto para examinar y comprender el comportamiento de sistemas de naturaleza compleja.

La figura presentada proporciona una representación gráfica de los resultados obtenidos mediante la simulación, los cuales revisten una importancia crucial para la formulación de decisiones fundamentadas y el progreso tanto en investigaciones como en el desarrollo de proyectos.

Este enfoque visual no solo facilita la interpretación de datos, sino que también constituye una herramienta invaluable para identificar patrones, tendencias y posibles áreas de mejora en el diseño o funcionamiento del sistema analizado

**Figura 36**

*Simulación del eje descascaradora.*

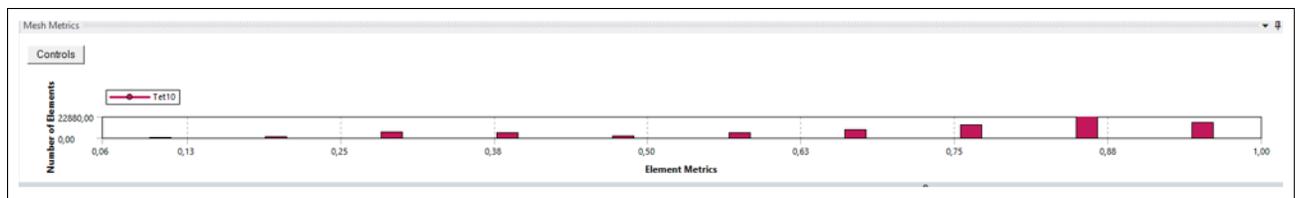


**Nota:** En la Figura se observa la simulación del eje descascaradora

En el análisis representado en la figura anterior, se puede apreciar que el eje no experimenta deformaciones significativas cuando se le somete a las cargas para las cuales fue diseñado. Esto indica que el eje ha sido adecuadamente dimensionado y diseñado para soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas que puedan comprometer su integridad estructural o funcionalidad. Este resultado valida la idoneidad del diseño y la selección de materiales utilizados en la construcción del eje, asegurando un desempeño satisfactorio y confiable en condiciones de carga operativas.

**Figura 37**

*Configuración de cargas eje descascaradora.*



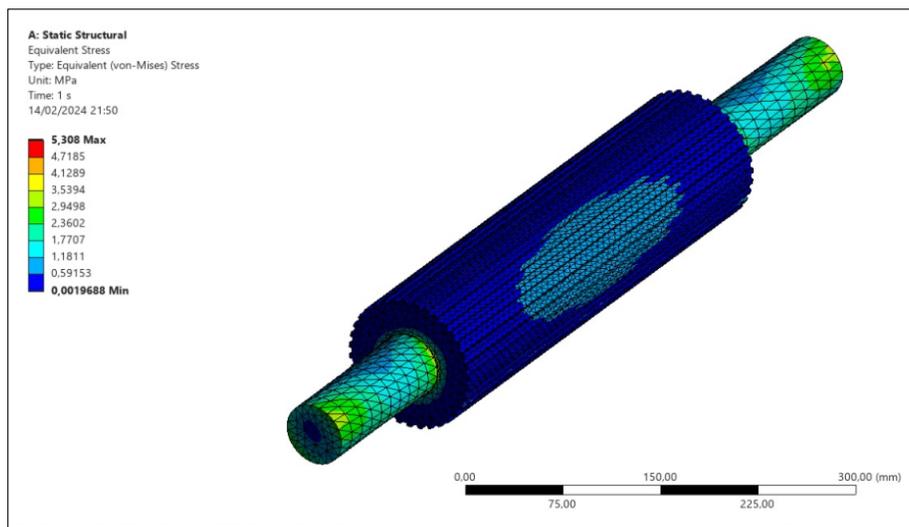
**Nota:** En la Figura se observa la configuración de las cargas

La evaluación de los esfuerzos aplicados al eje revela que estos se mantienen dentro de los límites de resistencia del material, confirmando la idoneidad del diseño concebido para su aplicación y la comparación de los esfuerzos con las propiedades mecánicas del material evidencia la capacidad del eje para soportar las condiciones operativas previstas sin comprometer su integridad estructural ni su funcionalidad. Este análisis subraya la acertada selección de materiales en el diseño del eje, asegurando un desempeño fiable y seguro bajo las cargas y condiciones específicas de trabajo.

Se observa que los esfuerzos más significativos surgen principalmente a partir de un factor de mallado de 0.74, indicando que la configuración del mallado ha sido correctamente realizada para capturar las características críticas del sistema.

### Figura 38

*Simulación del eje descascaradora.*



**Nota:** En la Figura se observa la simulación del eje descascaradora

El factor de mallado, al ser un parámetro esencial en la simulación, influye directamente en la resolución y precisión de los resultados obtenidos. La elección apropiada del factor de mallado es crucial para capturar las variaciones locales y las áreas de concentración de esfuerzos dentro del sistema.

La identificación de los datos de esfuerzos más relevantes ofrece una visión clara de las áreas críticas del sistema donde se generan las cargas más significativas, contribuyendo a una comprensión más profunda de su respuesta estructural ante las condiciones de carga previstas.

En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la precisión de la simulación al proporcionar una representación fiel de las condiciones reales del sistema. Esto establece una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con el diseño, la optimización y la evaluación del rendimiento del sistema analizado.

### **7.3.3. Resultados de la simulación del eje porta cuchillas**

El eje porta cuchillas representa el componente crucial en la operación del molino de cacao. Durante esta fase, el cacao es sometido a altas velocidades de rotación mientras las cuchillas impactan el material con el objetivo de pulverizarlo, en este contexto, el eje que alberga las cuchillas emerge como el elemento más crítico, dado que su eventual falla podría comprometer severamente el funcionamiento del molino y, por ende, la producción de cacao.

La importancia de este eje radica en su capacidad para soportar las fuerzas generadas por el impacto a altas velocidades durante la operación del molino, dado que el fallo del eje podría tener repercusiones significativas, es imperativo llevar a cabo una simulación que evalúe su comportamiento bajo condiciones de carga realistas, donde esta simulación permite anticipar y abordar posibles debilidades estructurales o de diseño que podrían conducir a la falla prematura del eje durante la operación.

Al realizar dicha simulación, se busca garantizar la integridad estructural del eje bajo las condiciones de funcionamiento esperadas lo que implica verificar que las tensiones generadas por las cargas dinámicas y las fuerzas centrífugas estén dentro de los límites de resistencia del material, asegurando así la fiabilidad y seguridad del equipo.

En resumen, la simulación del eje porta cuchillas del molino de cacao es una etapa crucial en el proceso de diseño y desarrollo de este equipo. Al evaluar su comportamiento bajo condiciones operativas específicas, se pueden identificar y mitigar potenciales riesgos de falla, garantizando así un funcionamiento seguro y eficiente del molino durante su vida útil.

La tabla 14 de la simulación del eje porta cuchillas ofrece una visión de los parámetros

críticos evaluados, incluyendo tensiones máximas y deformaciones, estos datos son esenciales para comprender el comportamiento estructural del eje y garantizar su integridad durante la operación del molino de cacao. Las tensiones máximas y las deformaciones proporcionan una introspección sobre la resistencia y rigidez del eje. Esta información contribuye a optimizar el diseño y fabricación del eje, asegurando un rendimiento seguro y eficiente del molino a lo largo de su vida útil.

**Tabla 14**

*Valores de simulación del eje porta cuchillas de molino de cacao.*

Valores de la simulacion	
Numero de nodos	3116
Calidad de mallado	
Minimo	0,62404
Maximo	0,90088
Promedio de mallado	0,99987
Elementos	583
Deformacion maxima	0,00054888 mm
Esfuerzo maximo (Von-Mises)	4,11191 Mpa

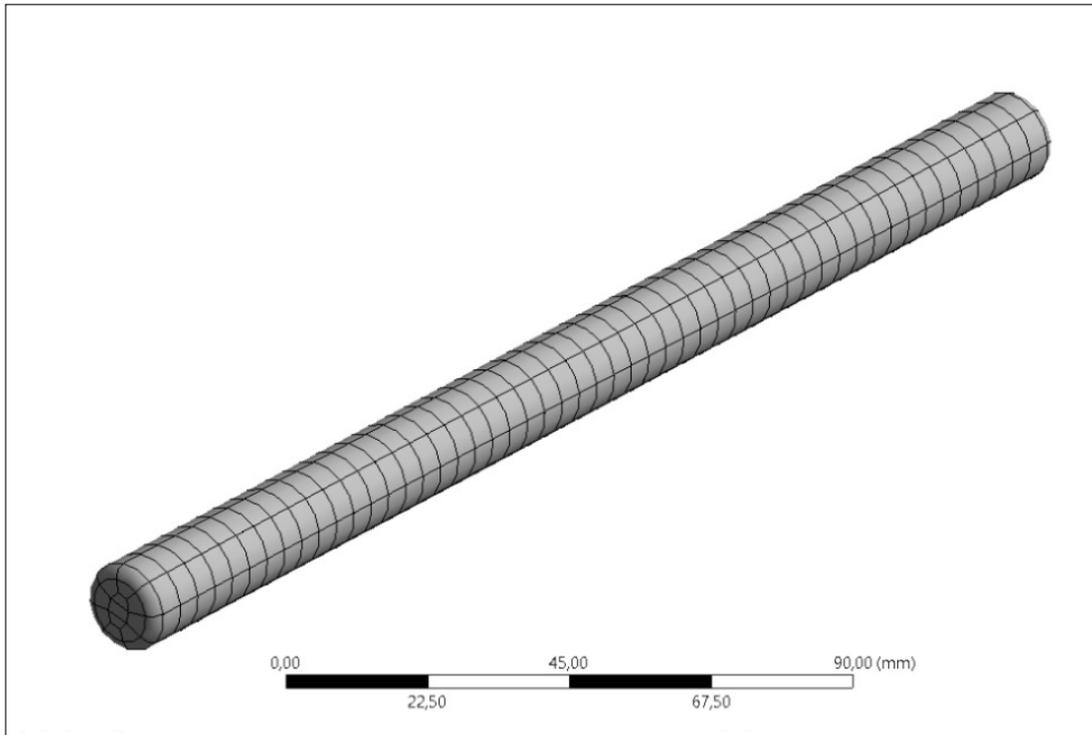
Una vez generada la malla para el análisis del eje porta cuchillas, se obtiene una representación gráfica del eje junto con el mallado correspondiente. Este enfoque permite un análisis más detallado de las fuerzas que el eje soporta y del impacto del material que ingresa en la cámara de molido de cacao, lo cual es crucial para comprender y optimizar el proceso de molienda del cacao. El mallado del eje facilita la evaluación precisa de las tensiones, deformaciones y otras variables mecánicas relevantes durante su funcionamiento, lo que contribuye a mejorar las propiedades mecánicas.

La simulación ayuda a identificar áreas de tensión, puntos críticos de fallo y posibles mejoras en el diseño, lo que optimiza su rendimiento y durabilidad. Además, estos resultados guían las decisiones en el diseño y fabricación del eje, permitiendo ajustes necesarios para cumplir con los requisitos de ingeniería y especificaciones del proyecto. En resumen, la presentación de los resultados de la simulación del eje es un hito clave en el desarrollo de componentes mecánicos, proporcionando información esencial para mejorar su rendimiento y fiabilidad en

diversos ámbitos industriales y comerciales.

**Figura 39**

*Mallado eje porta cuchillas molino.*

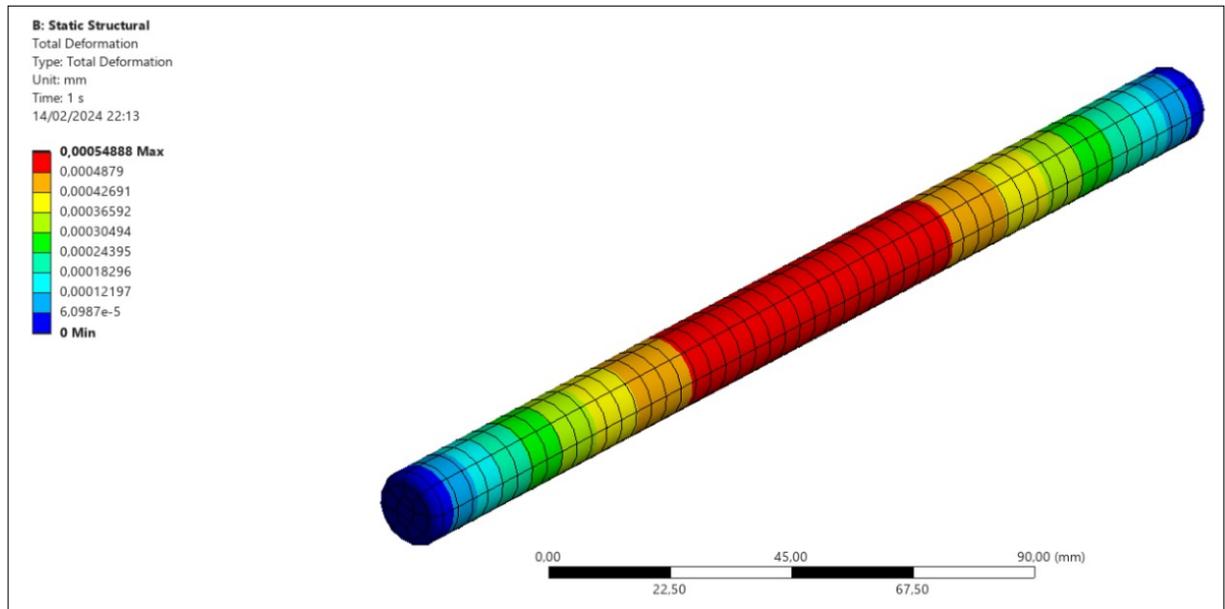


**Nota:** En la Figura se observa el mallado del eje porta cuchillas del molino

En la Figura 39, se evidencia que la estructura de mallado exhibe las características necesarias para iniciar la simulación correspondiente. Este mallado, previamente establecido, constituye una disposición idónea para la aplicación de fuerzas predefinidas, las cuales han sido calculadas con el propósito de verificar la idoneidad del eje diseñado ante las cargas a las que se verá expuesto. Es imperativo destacar que la simulación se ejecutará considerando las fuerzas específicas para garantizar una evaluación precisa y exhaustiva del comportamiento del eje bajo las condiciones de carga estipuladas.

## Figura 40

*Simulación del eje molino.*



**Nota:** En la Figura se observa la simulación del eje molino

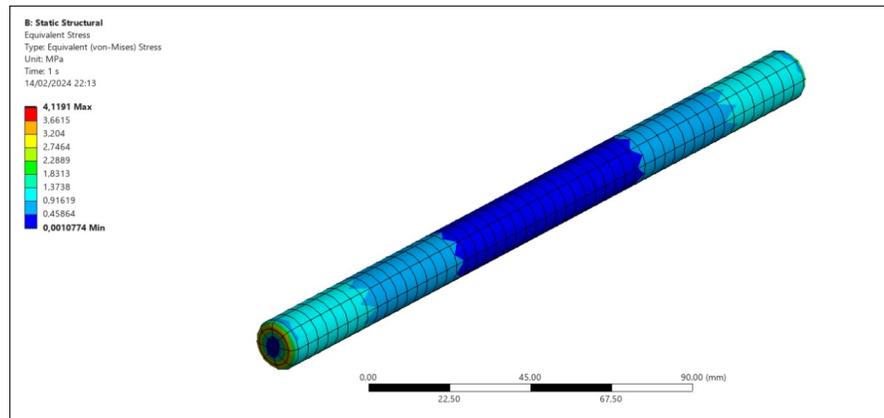
En consonancia con la robustez observada en el eje de la descascaradora, se infiere que el eje de porta cuchillas exhibe características igualmente aptas para resistir el impacto generado por el material en ingreso.

Este análisis se sustenta en la correlación de los resultados obtenidos con la información previamente recabada, lo cual confirma la idoneidad del eje diseñado para soportar las diversas cargas y fuerzas a las que estará sometido durante su operación.

Es esencial destacar que la evaluación exhaustiva de las capacidades del eje de porta cuchillas se basa en criterios técnicos rigurosos, garantizando así su adecuación a los requerimientos operativos y su capacidad para mantener la integridad estructural bajo condiciones adversas.

## Figura 41

*Simulación del eje molino.*



**Nota:** En la Figura se observa la simulación del eje molino

Al culminar el análisis de esfuerzos, se concluye que el eje no experimentará fallos significativos a corto o largo plazo, si bien es importante reconocer que podría someterse a un proceso de desgaste progresivo debido a la naturaleza de las fuerzas a las que estará expuesto. Es de primordial interés determinar la capacidad del eje para resistir y tolerar dichas fuerzas, lo cual implica evaluar su durabilidad y vida útil en condiciones operativas reales. En este sentido, se requiere un enfoque holístico que considere factores como la resistencia del material, la distribución de las cargas, la calidad de la fabricación y el entorno de aplicación. Además, es esencial implementar estrategias de monitoreo y mantenimiento preventivo para mitigar el desgaste y garantizar el rendimiento óptimo del eje a lo largo de su ciclo de vida útil. Este enfoque proactivo permitirá mantener la integridad estructural del eje y asegurar su funcionalidad continua en el contexto de las exigencias operativas y las fuerzas a las que estará sometido.

## 7.4. Resultados del análisis de la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao.

Es importante hacer el análisis del VAN y TIR, ya que con estos valores tendremos una visión amplia de la parte económica de nuestros proyectos una vez que se tiene claro todo lo que influye dentro de este análisis, es decir, precios de los materiales, la mano de obra,

las herramientas a usar y el transporte de material, ya que muchas veces se deja pasar por alto por lo cual al realizar un análisis de lo antes mencionado se presenta los resultados a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 15**

*Resultados del VAN y TIR*

DESCRIPCION	0	1	2	3	4	5
VALOR RESIDUAL						27,916.28
FLUJO DE DINERO EN CADA PERIODO	-27916.28	3982.48	3982.48	3982.48	3982.48	31898.76

VAN	\$4,514.27
TIR	14.27%

Como se observa en la tabla 15 se tiene un flujo de dinero en cada periodo, que si observamos en el año cero, que es donde empieza el proyecto, se obtiene un valor negativo, ya que aquí es donde se invierte dinero para empezar con la producción de máquinas a medida que van pasando los años este flujo va cambiando y se hace positivo quiere decir que está generando ganancias hacia el proyecto y finalmente en el último año (año 5) tenemos un valor residual esto quiere decir que en el último año las máquinas quedarán en stock y lo que se vende de estas máquinas queda en caja, ya que para el siguiente año la máquina no se fabricará por diferentes razones como puede ser el avance de tecnologías en el secado por lo cual se recomienda que luego de este año se realice un nuevo diseño de los productos para la renovación de las mismas con un estudio diferente de las mismas.

## 8. Conclusiones

- Los parámetros iniciales para el diseño de la máquina procesadora se derivaron de un estudio exhaustivo de las tecnologías actualmente disponibles en el mercado. Este análisis proporcionó información crucial sobre las dimensiones necesarias de la máquina, así como las metodologías empleadas en el proceso de secado, descascarado y molido del cacao. Estos

datos, a su vez, establecieron los fundamentos para determinar los parámetros específicos requeridos para el diseño, con el objetivo de satisfacer la capacidad de producción deseada de 500 kg/día.

- La propuesta de diseño mecánico se fundamentó en un análisis exhaustivo de las tecnologías disponibles en el mercado. Una vez que se obtuvieron los parámetros iniciales, se procedió al diseño detallado de cada máquina que formará parte de la procesadora de cacao, identificando y evaluando los elementos críticos de cada una de ellas. En este proceso, se llevaron a cabo cálculos pertinentes para verificar que los elementos identificados cumplieran con los requisitos establecidos para la capacidad y funcionalidad de las máquinas.

- La verificación mediante software de los elementos críticos es imprescindible, ya que este enfoque permite validar que el dimensionamiento, materiales y cálculos sean adecuados para resistir las cargas a las que estarán sometidos cada uno de los elementos. En el caso específico del proceso de secado, es crucial garantizar que el flujo de aire caliente dentro de la cámara de la secadora sea uniforme, lo que asegura un secado homogéneo en todo el espacio disponible. Para el caso de la máquina descascaradora de cacao, la simulación verifico que el elemento crítico, refiriéndonos al eje central donde caen los nibs de cacao y a partir de esta acción separa la cáscara, es el apto, ya que no sufre deformaciones máximas de la misma manera se lo hace para el molino donde su elemento crítico es el eje porta cuchillas que de la misma manera su deformación al momento del impacto es mínima llegando a una conclusión que los elementos diseñados son los más aptos para el presente proyecto.

- El análisis de la factibilidad técnico-económica mediante los métodos del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es esencial, dado que estas métricas nos proporcionan información sobre la viabilidad de un proyecto durante un período específico. Los resultados de estos análisis indican si el proyecto es rentable o no, considerando el flujo de efectivo esperado y la tasa de rendimiento deseada. En este caso particular, los valores obtenidos indican que el proyecto es favorable y viable durante un horizonte temporal de 5 años teniendo así un valor para el Valor Actual Neto (VAN) igual a \$4514,27 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) igual a 14.27%.

## **9. Recomendaciones**

Se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de los elementos críticos en cada una de las máquinas, lo que sugiere la necesidad de realizar estudios detallados y continuos para mantenerse al tanto de las nuevas tecnologías que puedan surgir en el mercado.

El avance y mejora constante de las tecnologías requiere una adaptación continua para optimizar el rendimiento de las máquinas y mantener su competitividad.

Asimismo, es fundamental considerar la limpieza y mantenimiento adecuados de cada máquina al finalizar el ciclo de procesado del cacao. Para futuros estudios, se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento integral para estas máquinas, con especial énfasis en el mantenimiento preventivo y la limpieza regular durante cada ciclo de trabajo. Esto contribuirá a evitar complicaciones que puedan afectar la calidad del producto final y garantizar un funcionamiento óptimo a largo plazo

## Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura y Ganadería, *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*. Vicepresidencia de la República del Ecuador. Cepal, 2017.
- [2] —, *Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos*. [Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/produccion-de-cacao-apunta-a-romper-record-este-ano/>; Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2016.
- [3] Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de a Matriz Productiva- Vicepresidencia del Ecuador, *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*. Vicepresidencia de la República del Ecuador. Cepal, 2017.
- [4] Google Maps, *Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana*. [Disponible en: <https://www.google.com/maps/>; Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2023.
- [5] R. Valdivia, *Fundamentos del secado de cacao*. [Disponible en: <https://cacaofaug.files.wordpress.com> ; Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2015.
- [6] P. Parra, *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente*. [Disponible en: <https://www.udpe.edu.pe/biblioteca/recursos-de-informacion/repositorio-pirhua/>; Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2018.
- [7] Poscosecha cacao, *Metodos de secado de cacao*. [Disponible en: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>; Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2018.
- [8] R. Liendo, *Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos*. [Disponible en: [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/El\\_Chocolate.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/El_Chocolate.pdf); Accedido el: 14 de marzo del 2023], 2005.
- [9] J. Ames, *Prototipo de diseño de maquina descascaradora de cacao*. [Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6093>; Accedido el: 10 de marzo del 2023], 2019.
- [10] Vulcano TEC, *Descascaradora de cacao*. [Disponible en: <https://vulcanotec.com/maquinaria/descascaradora-de-cacao/> Accedido el: 26 de junio del 2023], 2017.

- [11] J. Arreaga, *Diseño de un molino industrial para la molienda y descascarado del cacao*. [Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20081>; Accedido el: 10 de marzo del 2023], 2021.
- [12] Retsch, *Molino de discos*. [Disponible en: <https://www.retsch.es/es/productos/molienda/molinos-de-discos/dm-200/> Accedido el: 29 de febrero de 2024], 2015.
- [13] L. Vanegas, *Diseño de elementos de Máquinas*. Editorial: UTP, Primera edicion, pag 18, , 2018.
- [14] J. Frax, *Proceso de diseño*. [Disponible en: <https://joelfrax.com/disenoproceso%20de%20diseno.html>; Accedido el: 29 de febrero de 2024], 2015.
- [15] W. Robles, *Propuesta técnica y económica para la creación de una planta procesadora de semielaborados de cacao en el cantón la Troncal provincia del Cañar, año 2014*. [Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/home>; Accedido el: 30 de marzo del 2023], 2015.
- [16] C. Serrano, *Rentabilidad de la inversión*. [Disponible en: <https://ciberconta.unizar.es/ifinanzas/indext6.htm> Accedido el: 29 de febrero de 2024], 2024.
- [17] P. Piray y L. Tamayo, *Diseño e implementación de un secador híbrido de cacao fino de aroma para la finca Santa María, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Quinindé en la parroquia La unión*. [Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8068/1/PI-001769.pdf>; Accedido el: 15 de mayo de 2023], 2020.
- [18] M. Vivas, P. Torres, y H. Rojas, *DISEÑO DE SECADORA DE CAFÉ ROTATIVA CON APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA BIOMASA*. [Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6180/T04187.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Accedido el: 17 de mayo de 2023], 2007.
- [19] V. Bermeo y F. Herrera, *Diseño de dos prototipos para el secado de café para el noroccidente de Pichincha*. [Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11530/1/CD-6510.pdf> Accedido el: 17 de mayo de 2023], 2015.

- [20] E. Quiroga, *Secadora de cafe tipo Guardiola*. [Disponible en: <https://es.scribd.com/document/405061323/Secador-Guardiola> Accedido el: 17 de mayo de 2023], 2017.
- [21] T. Vulcano, *Secadora de granos*. [Disponible en: <https://vulcanotec.com/maquinaria/secadora-de-granos/> Accedido el: 20 de mayo de 2023], 2017.
- [22] A. Castrillon, *Secadora de cacao Ecuador*. [Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=1dsbuEL1RvQ> Accedido el: 20 de mayo de 2023], 2016.
- [23] Fischer Agro, *Descascarilladora de cacao*. [Disponible en: <https://www.fischer-peru.com/productos/cacao/descascarilladora-de-cacao-nid-30>, Accedido el: 26 de junio del 2023], 2017.
- [24] DELANI, *Molino primario de cacao MINIREX*. [Disponible en: <https://delanitradng.com/producto/molino-primario-de-cacao/> Accedido el: 15 de junio de 2023], 2018.
- [25] R. Norton, *diseño de máquinas*. Prentice Hall. Cuarta Edición. México, 2011.

# **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>GENE-</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>
¿Es factible diseñar una máquina procesadora de cacao?		Diseñar una máquina procesadora de cacao	Se diseñará una máquina procesadora de cacao	VI: cacao VD: diseño	Máquina Procesadora: Secadora, descascadora, moledora
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
¿Es posible establecer los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao?	Establecer los parámetros iniciales para el diseño de una máquina procesadora de cacao,	los parámetros iniciales establecerán el diseño de una máquina procesadora de cacao	VI: Parámetros Iniciales VD: Diseño	Parámetros iniciales: capacidad, dimensiones de máquinas, tipos de máquinas	
¿Es factible proponer el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao?	Proponer el diseño mecánica de la máquina procesadora de cacao	Se Propondrá el diseño mecánico de la máquina procesadora de cacao	VD: Diseño	Diseño Mecánico	
¿Se podrá verificar los elementos críticos del diseño mediante software de simulación?	Verificar los elementos críticos del diseño mediante software de simulación	Se verificará los elementos críticos del diseño mediante software de simulación	VD: Diseño VI: Software	Software	
¿Se podrá analizar la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao?	Analizar la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao	Se Analizara la factibilidad técnica económica para la construcción del diseño propuesto de la máquina procesadora de cacao	VD: Diseño	VAN (Valor actual neto); TIR (Tasa interna de retorno)	

## Anexo B: Selección de motorreductor

### MOTOREDUCTOR TRIFÁSICO GR

Coaxial, hierro fundido, con eje sólido, helicoidal.



Código	Potencia	Voltaje VAC	Carcasa M - R	i	Velocidad RPM	Fs	Torque Nm	Precio
543136	1HP (0.75kW)	220 - 380 - 440	80 - 39	28.73	62	1.55	-	0.00
543058	2HP (1.5kW)	220 - 380 - 440	90 - 49	14.56	119	2.16	142	0.00
543060	2HP (1.5kW)	220 - 380 - 440	90 - 69	28.83	60	2.16	280	0.00
543064	2HP (1.5kW)	220 - 380 - 440	90 - 89	60.61	29	3.00	589	0.00
543059	3HP (2.2kW)	220 - 380 - 440	90 - 49	14.56	118	1.44	203	0.00
543061	3HP (2.2kW)	220 - 380 - 440	90 - 69	28.83	60	1.44	402	0.00
543065	3HP (2.2kW)	220 - 380 - 440	90 - 89	60.61	28	2.04	846	0.00
543120	4HP (3.0kW)	220 - 380 - 440	100 - 79	15.79	114	2.76	247	0.00
543137	4HP (3.0kW)	220 - 380 - 440	100 - 99	59.92	30	3.00	950	0.00
543138	4HP (3.0kW)	220 - 380 - 440	100 - 89	60.61	29	1.50	1154	0.00
543062	5HP (3.7kW)	220 - 380 - 440	100 - 79	15.60	108	2.10	393	0.00
543066	5HP (3.7kW)	220 - 380 - 440	100 - 89	32.80	52	2.10	827	0.00

## Anexo C: Factor geométrico de resistencia a la flexión

**TABLA 11-9 Factor geométrico J a flexión AGMA para dientes de profundidad total de 20° con carga HPSTC**

Dientes en el engrane	Dientes en el piñón																
	12		14		17		21		26		35		55		135		
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	
12	U	U															
14	U	U	U	U													
17	U	U	U	U	U	U											
21	U	U	U	U	U	U	0.33	0.33									
26	U	U	U	U	U	U	0.33	0.35	0.35	0.35							
35	U	U	U	U	U	U	0.34	0.37	0.36	0.38	0.39	0.39					
55	U	U	U	U	U	U	0.34	0.40	0.37	0.41	0.40	0.42	0.43	0.43			
135	U	U	U	U	U	U	0.35	0.43	0.38	0.44	0.41	0.45	0.45	0.47	0.49	0.49	

## Anexo D: Factor $K_a$

Máquina Impulsora	Máquina Impulsada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o mayor
Impacto suave (motor de varios cilindros)	1.25	1.50	2.00 o mayor
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o mayor

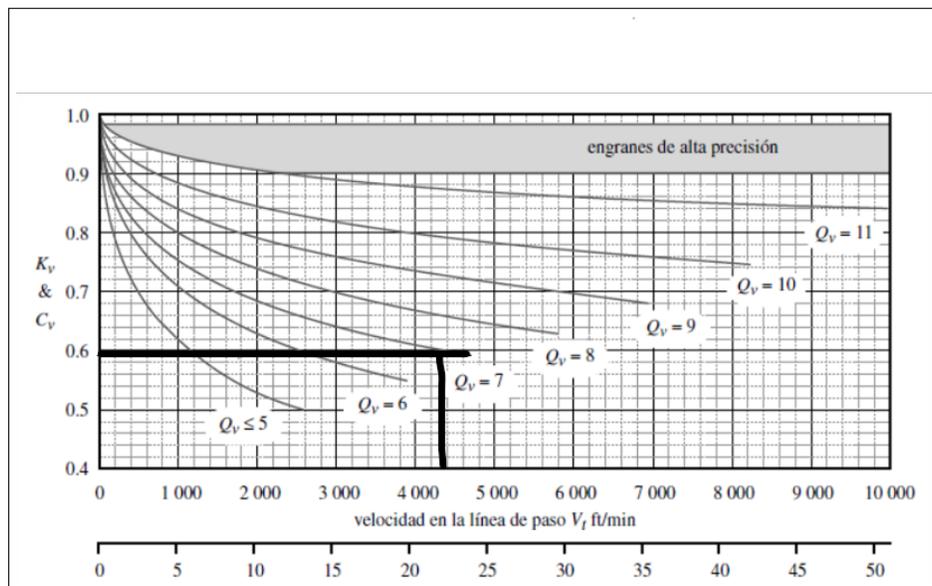
# Anexo E: Distribución de carga y Factor Dinámico

## Distribución de carga

**Tabla 8-16**  
Factores  $K_m$  de distribución de carga

Ancho de cara In (mm)	$K_m$
<2 (50)	1.6
6 (150)	1.7
9 (250)	1.8
$\geq 20$ (500)	2.0

## Factor dinámico



## Anexo F: Catálogo y selección de rodamiento para máquina descascaradora de cacao

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Designación
d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C <sub>0</sub> (kN)	
50	80	10	16.8	11.4	■ 16010
50	80	16	22.9	16	■ 6010
50	80	16	22.9	16	■ 6010 N
50	80	16	22.9	15.6	■ 6010 NR
50	80	16	22.9	15.6	■ 6010-2RS1
50	80	16	22.9	15.6	■ 6010-2RZ
50	80	16	22.9	15.6	■ 6010-2Z

## Anexo G: Tabla de densidades aparentes

DENSIDAD APARENTE	
PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Alfa, granos	750-800
Algodón, granos con su fibra	420
Arroz cascara	500-630
Arroz gavillas	80-120
Arroz blaqueado	800-850
Arroz de embarque	700-750
Avena	500-540
Cacahuete con cascara para aceite	370-400
Cacahuete sin cascara	600-620
Cacahuete con cascara para consumo directo	270-300
Cacao (granos frescos)	900
Cacao (granos fermentados)	775
Cacao (granos secos)	635
Café (granos frescos)	620
Café comercial	715
Café (granos secos)	450
Cebada	550-690
Guisantes	800-880
Lino	600-680
Maiz, granos	700-820